

Université de Montpellier II

Habilitation à Diriger des Recherches

Diversité et utilisation des mycorhizes arbusculaires, des ectomycorhizes et des rhizobium en foresterie tropicale

Marc DUCOUSSO

Laboratoire de Symbioses Tropicales et Méditerranéennes

UMR 113 – Cirad, IRD, Inra, Agro-M, UM2 et IAC

Centre IRD de Nouméa, B.P. A5

98 848 NOUMÉA Cedex

NOUVELLE-CALÉDONIE

PLAN

CURRICULUM VITAE.....	4
PARCOURS DE RECHERCHE	6
1. DIFFUSION DE L'INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE	8
1.1. Publications dans des revues avec facteur d'impact ISI	8
1.2. Publications dans des revues sans facteur d'impact ISI	9
1.3. Chapitres d'ouvrage	11
1.4. Présentations orales (O) et posters (P) à des congrès	11
1.5. Autres publications	14
2. ACTIVITÉS DE FORMATION	16
2.1. Activités d'enseignement.....	16
2.2. Formation des étudiants à la recherche	16
2.3. Accueil de collègues d'autres laboratoires dans le cadre de projets communs.....	19
3. PARTICIPATIONS À DES PROJETS ET MISSIONS	22
3.1. Participation à des projets de recherche et de développement	22
3.2. Missions.....	23
4. ACTIVITÉS DE RECHERCHE (1986-2005)	26
4.1. Caractérisation, rôle et importance des symbioses racinaires chez les <i>Acacia</i>	26
4.1.1. Potentiel fixateur d'azote des <i>Acacia</i>	26
4.1.2. Les types symbiotiques chez les <i>Acacia</i>	27
4.1.3. Rôles des symbioses racinaires pour la croissance des <i>Acacia</i>	31
4.1.4. Amélioration des techniques d'inoculation des <i>Acacia</i>	31
4.2. Les symbioses mycorhiziennes dans les systèmes forestiers et agroforestiers des zones arides et semi-arides.	33
4.2.1. Caractérisation des champignons mycorhiziens arbusculaires et structuration de leurs populations dans les systèmes agroforestiers sénégalais et marocains.....	33
4.2.1.1. <i>Caractérisation morphologique et anatomique des Glomales</i>	33
4.2.1.2. <i>Caractérisation moléculaire des Glomales</i>	35
4.2.1.3. <i>Diversité et structuration des populations de Glomales dans les sols</i>	35
4.2.2. Diversité et utilisation des Glomales pour la régénération des tetraclinaies marocaines.	37
4.3. Valorisation de la diversité des symbioses tropicales pour la restauration des forêts tropicales humides et des sites miniers.....	38
4.3.1. Les symbioses ectomycorhiziennes d'Inde ont un ancêtre à Madagascar.	38
4.3.2. Diversité des symbioses mycorhiziennes des sites miniers de Nouvelle-Calédonie.	41

4.3.2.1. Étude des champignons endomycorhiziens formant des myconodules.	41
4.3.2.2. Étude des ectomycorhizes et des champignons ectomycorhiziens des maquis miniers.	44
4.4. Caractérisation moléculaire des Basidiomycètes responsables de la dégradation du bois en pourritures cubique et fibreuse.	45
4.4.1. Analyse de la diversité des Basidiomycètes impliqués dans la dégradation du bois.	46
4.4.2. Développement d'un outil pour la détection précoce de champignon dans le bois.	49
4.5. Références bibliographiques.	50
 5. PROJET DE RECHERCHE : « Adaptation aux métaux des plantes et de leurs champignons mycorhiziens : application à la restauration des écosystèmes métallophytes de Nouvelle-Calédonie »	53
5.1. Contexte du projet : une biodiversité terrestre unique, source de multiples questions de recherche d'intérêts générique et finalisé.....	53
5.2. Caractériser et étudier les interactions plantes-mycorhizes-sols dans l'adaptation des plantes aux métaux.	55
5.3. Valoriser les acquis de la recherche par des applications dans le domaine de la restauration des sites miniers après exploitation.	56
5.3.1. Applications dans le domaine de la restauration des sites miniers après exploitation.	56
5.3.2. Dans le domaine de la formation.	56
5.3.3. Dans la diffusion de l'information scientifique et technique.	57
5.4. Références bibliographiques.	57
 ANNEXES : Publications les plus marquantes (10)	58
<u>Article 1</u> : Zaremski A., Ducouso M., et al. (2005) – <i>Can. J. For. Res.</i> , 35 :1256-1260.	
<u>Article 2</u> : Weber J., et al., Ducouso M., Lee S.K., (2005) – <i>Biol. Fertil. Soil</i> , 41 :233-239.	
<u>Article 3</u> : Ducouso M., Galiana A., et al. (2004) – <i>Eur. J. Soil Biol.</i> , 40 :105-111.	
<u>Article 4</u> : Ducouso M., Bourgeois C., et al. (2004) – <i>Mol. Ecol.</i> , 13 :231-236.	
<u>Article 5</u> : Ducouso M., Contesto C. et al. (2004) – <i>Crypt. Myco.</i> , 25 : 115-125.	
<u>Article 6</u> : Diallo A.T., Samb P.I., Ducouso M. (1999) - <i>Eur. J. Soil Biol.</i> , 35 (2):65-75.	
<u>Article 7</u> : Ducouso M., Bâ A.M., Thoen D. (2003) - <i>Bois For. Trop.</i> , 275 :51-63.	
<u>Article 8</u> : Thoen D., Ducouso M. (1989) - <i>Bois For. Trop.</i> , 221 :45-63.	
<u>Article 9</u> : Ducouso M., Colonna J.P., et al. (1991) - <i>In: Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides, John Libbey Eurotext</i> , 215-228.	
<u>Article 10</u> : Ducouso M., Thoen D. (1991) - <i>In: Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides, John Libbey Eurotext</i> , 175-182.	

CURRICULUM VITAE

NOM	DUCOUSSO Marc
DATE DE NAISSANCE	8 Novembre 1961
NATIONALITE	Française
SITUATION DE FAMILLE	Deux enfants (Laure : 15 ans et Amandine : 12 ans)
ADRESSE	Équipe « Adaptation et Ultramafisme », Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes UMR 113 (Cirad/IRD/Inra/Agro-M/UM2 et IAC). Centre IRD de Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie Tel. 687 26 07 74, Fax: 687 26 42 26
STATUT PROFESSIONNEL	Cadre Scientifique en contrat à durée indéterminée (CDI) avec le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad), 42 rue Scheffer, 75116 Paris
TITRES ET DIPLOMES	Doctorat en Microbiologie et Écologie microbienne. <u>Sujet</u> : Importance des symbioses racinaires pour l'utilisation des acacias en Afrique de l'Ouest. Université Claude Bernard, Lyon I (1990) Diplôme d'Etudes Approfondies en Biologie et Physiologie végétales, option Physio-phytopathologie. <u>Sujet</u> : Effets d'une toxine non spécifique produite par <i>Phoma lingam</i> (Tode) Desm. : la sirodesmine. Université des sciences et techniques de Lille I (1985) Maîtrise de Biologie des Organismes et des Populations , Université des Sciences et Techniques de Lille I (1984) Licence de Biologie des Organismes , Université des Sciences et Techniques de Lille I (1983) Diplôme d'Etudes Universitaires Générales (DEUG), option : Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Picardie, Amiens (1982)
EXPERIENCES	Depuis Février 2006 : en poste en Nouvelle-Calédonie pour l'Institut Agronomique néo-Calédonien au Centre de l'Institut de

Recherche pour le Développement de Nouméa, Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes, UMR113 (Cirad/IRD/Inra/Agro-M/UM2), BPA5, 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie

De Juillet 1998 à Janvier 2006 : en poste au Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes, UMR113, Cirad/IRD/Inra/Agro-M/UM2, TA10J, F-34398 Montpellier Cedex 5, France

De Novembre 1994 à Juin 1998 : en poste à l'INRA/ENSAM au laboratoire de recherche sur les symbioses racinaires, 2 Place Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, France

De Juillet 1990 à Octobre 1994 : en poste au Sénégal au Laboratoire de microbiologie forestière de la Direction des Recherches sur les Productions Forestières (DRPF) de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA) BP 2312, Dakar, Sénégal

De Juin 1987 à Juin 1990 : Boursier du département Forêt du Cirad, en poste alternativement 6 mois chaque année au Sénégal à la DRPF/ISRA avec un appui scientifique et technique du laboratoire de microbiologie des sols de l'IRD (ex ORSTOM) à Dakar et 6 mois en France au laboratoire de Biologie des Symbioses Forestières Tropicales (BSFT) à Nogent-sur-Marne

De Février 1986 à Mai 1987 : Volontaire du Service National Actif (VSNA) en poste pour le département « Forêt » du Cirad à la DRPF/ISRA au Sénégal BP 2312 Dakar avec un appui scientifique et technique du laboratoire de microbiologie des sols de l'IRD (ex ORSTOM) à Dakar

PARCOURS DE RECHERCHE

Après un DEA de physiophytopathologie à l'Université des Sciences et Techniques de Lille I, me destinant aux métiers de la recherche dans le domaine de la protection des cultures, j'ai choisi d'effectuer mes obligations militaires dans le cadre de la coopération nord-sud comme volontaire du service national actif (VSNA). Ce choix m'a définitivement détourné de la phytopathologie pour m'orienter vers l'étude des symbioses racinaires des arbres. Ainsi, après deux semaines de recherche bibliographique à Nogent-sur-Marne, le département « Forêt » du Cirad, le Centre Technique Forestier Tropical à l'époque, m'a affecté le 17 février 1986 à Dakar au Centre National de la Recherche Forestière de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (DRPF/ISRA) pour y effectuer des recherches en coopération avec des partenaires scientifiques sénégalais, avec l'appui des infrastructures et de l'équipe de microbiologie des sols de l'IRD (ex Orstom) de Dakar. J'ai alors conduits, pendant 14 mois, des recherches sur le potentiel fixateur d'azote de plus d'une cinquantaine d'espèce d'*Acacia* principalement originaire d'Australie, incluant la mise en place, les suivis et les analyses d'essai d'inoculation contrôlée en pépinière et aux champs. Ces travaux m'ont permis aussi et pour la première fois en dehors de leur aire d'origine, d'observer l'ectomycorhization chez certaines espèces d'*Acacia* à phyllodes, symbiose jusqu'alors décrite uniquement en Australie par Warcup (1980). Cette observation a amené le département « Forêt » du Cirad à me proposer un contrat à durée déterminée de trois ans pour effectuer une thèse afin d'explorer et de comprendre l'importance des symbioses racinaires, notamment mycorhiziennes pour l'utilisation des acacias en Afrique de l'Ouest.

À l'issue de ma thèse soutenue à l'Université Claude Bernard de Lyon I, j'ai été recruté en contrat à durée indéterminée par le département « Forêt » du Cirad qui, en concertation avec la DRPF/ISRA, m'a affecté à Dakar en 1990 pour y étendre mes recherches sur la diversité, les rôles et l'importance des symbioses mycorhiziennes dans les systèmes agroforestiers sahéliens. Ces recherches m'ont permis de développer mes compétences dans les domaines de la systématique et de l'écologie des champignons mycorhiziens.

Ces neuf années passées au Sénégal dans le cadre de la recherche pour le développement m'ont fait d'acquérir une connaissance des milieux naturels, biologiques et humains sénégalais en plus de compétences particulières sur les systèmes symbiotiques mycorhiziens et fixateurs d'azote tropicaux et également de m'impliquer dans la formation de jeunes chercheurs sénégalais.

De retour en France le 14 novembre 1994, je suis accueilli au laboratoire des Symbioses Racinaires de l'ENSAM/INRA à Montpellier. Cet accueil a été réalisé en anticipant la délocalisation annoncée du département « Forêt » du Cirad de la région parisienne à Montpellier. Dans ce cadre, j'ai initialement été en charge de développer un programme de

recherche nouveau afin d'évaluer les conséquences de la sélection des *Eucalyptus* par hybridation interspécifique sur l'ectomycorhization. Malgré des efforts importants, ces travaux n'ont pu être menés à leur terme à cause principalement de restrictions d'accès au matériel végétal sélectionné en provenance exclusive de l'Unité de Recherche sur la Productivité des Plantations Industrielles (UR2PI) de Pointe Noire au Congo. J'ai donc parallèlement mis en œuvre mes compétences acquises au Sénégal pour m'impliquer dans des projets sur la mycorhization contrôlée de feuillus méditerranéens et sur l'importance de la mycorhization pour la réhabilitation des écosystèmes dégradés.

En 1998 j'ai quitté le site de l'ENSAM/INRA de La Gaillarde pour rejoindre le tout nouveau bâtiment construit par le Cirad pour le LSTM sur le site de Baillarguet à Montpellier, dans le cadre de la délocalisation. Ce changement a été pour moi l'occasion de m'impliquer dans le montage de l'UMR LSTM dès son origine, en apportant une contribution scientifique au projet d'Unité, en participant à l'installation et à l'équipement des laboratoires (cytologie, microscopie) et en assurant la fonction de Personne Compétente en Radioprotection pour la détention et à la manipulation de radioéléments artificiels en source non scellée.

Mon intégration dans le LSTM m'a permis de centrer et développer mes recherches sur la diversité, les rôles fonctionnels et l'utilisation des symbioses racinaires pour la réhabilitation des terres dégradées. Pour cela, j'ai mis au point des approches moléculaires nécessaires à la caractérisation des microorganismes symbiotiques et des plantes hôtes et aussi au suivi des microorganismes dans les expériences de mycorhization contrôlée. La maîtrise de ces outils a été mise à profit dans le cadre du développement d'une collaboration avec le laboratoire de préservation des bois du département « Forêt » du Cirad pour le développement de recherche sur les Aphyllophorales impliquées dans la dégradation des bois tropicaux. Cette intégration m'a aussi conduit à m'investir plus largement dans l'encadrement de jeunes chercheurs et plus généralement dans la valorisation de mes travaux de recherche.

Mon affectation en Nouvelle-Calédonie est effective depuis février 2006 au sein d'une équipe pluri-institutionnelle de l'UMR LSTM, équipe évoluant dans le cadre d'un consortium faisant intervenir notamment des partenaires industriels afin de mener des recherches sur la gestion de la biodiversité des écosystèmes métalphytiques. Le programme de cette nouvelle tranche de ma carrière scientifique me permet de mettre en œuvre, sur le terrain, avec des partenaires publics et privés, l'expertise de l'UMR dans le domaine de la restauration écologique des sites miniers (chapitre 5).

1. DIFFUSION DE L'INFORMATION SCIENTIFIQUE

Dans les cinq listes ci-après, les noms des étudiants encadrés en thèse ou pour un Diplôme d'études approfondies figurent en italique-gras.

1.1. Publications dans des revues avec facteur d'impact ISI

- 1- **Echbab H.**, Arahou M., **Ducouso M.**, Nourissier-Mountou S., Duponnois R., Lahlou H., Prin Y. (2007) - Successful nodulation of *Casuarina* by *Frankia* in axenic conditions. *Journal of Applied Microbiology (JAM-2006-1641.R1)*. IF : 2,127 (sous presse)
- 2- **Weber J.**, Tham F.Y., Galiana A., Prin Y., **Ducouso M.**, Lee S.K. (2007) – Effect on nitrogen source on nodulation of *Acacia mangium* Willd. in aeroponic culture. *Journal of Tropical Forest Science*, 19:103-112. IF : 0,113
- 3- Ouahmane L., Hafidi M., Thioulouse J., **Ducouso M.**, Kisa M., Prin Y., Galiana A., Boumezzough A., Duponnois R. (2007) - Improvement of *Cupressus atlantica* Gaussen growth by inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Applied Microbiology*, doi:10.1111/j.1365-2672.2007.03296.x. IF : 2,127
- 4- Ouahmane L., Thioulouse J., Hafidi M., Prin Y., **Ducouso M.**, Galiana A., Plenchette C., Kisa M., Duponnois R. (2007) - Soil functional diversity and P solubilization from rock phosphate after inoculation with native or allocthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Forest Ecology and Management*, **241**:200-208. IF : 1,522
- 5- Ramanankierana, N., **Ducouso M.**, Rakotoarimanga, N., Prin, Y., Thioulouse, J., Randrianjohany, E., Ramaroson, L., Kisa, M., Galiana, A., Duponnois, R. (2007) - Arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas of *Uapaca bojeri* L. (Euphorbiaceae): sporophore diversity, patterns of root colonization and effects on seedling growth and soil microbial catabolic diversity. *Mycorrhiza*, **17**:195-208. IF : 1,753
- 6- Duponnois R., Plenchette C., Prin Y., **Ducouso M.**, Kisa M., Bâ A.M., Galiana A. (2006) – Use of mycorrhizal inoculation to improve reafforestation process with Australian *Acacia* in Sahelian ecozones. *Ecological Engineering*, **29**:105-112. IF : 0,981
- 7- Abbas Y., **Ducouso M.**, Abourouh M., Azcon R., Duponnois R. (2006) - Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters woodlands in Morocco. *Annals of Forest Science*, **63**:285-291. IF : 1,407
- 8- **Weber J.**, Prin Y., Tham F.Y., **Ducouso M.**, Lee S.K. (2005) - Survival and growth of *Acacia mangium* Willd. bare-root seedlings after storage and transfer from aeroponic culture to the field. *Annals of Forest Science*, **62**:475-477. IF : 1,407
- 9- **Zaremski A.**, **Ducouso M.**, Domergue O., Fardoux J., Rangin C., Fouquet D., Joly H., Sales C., Dreyfus B., Prin Y. (2005) - *In situ* molecular detection of some white-rot and brown-rot Basidiomycetes infecting temperate and tropical woods. *Canadian Journal of Forest Research*, **35**:1256-1260. IF : 1,446
- 10- **Weber J.**, Tham F.Y., Prin Y., Galiana A., Nourissier-Mountou S., **Ducouso M.**, Lee S.K., (2005) – Co-inoculation of *Acacia mangium* with *Glomus intraradices* and *Bradyrhizobium* sp. in aeroponic culture. *Biology and Fertility of Soil*, **41**:233-239. IF : 1,276
- 11- **Ducouso M.**, Galiana A., Chaix G., Prin Y. (2004) – Relative infectivity of two *Pisolithus* spp. strains inoculated to the nitrogen-fixing legume tree *Acacia crassicarpa* A. Cunn. ex Benth. in a field experiment in Madagascar. *European Journal of Soil Biology*, **40**:105-111. IF : 0,776
- 12- **Echbab H.**, Prin Y., **Ducouso M.**, Nourissier-Mountou S., Lahlou H., Arahou M. (2004) - Helper bacteria associated with *Casuarina cunninghamiana*-*Frankia* symbiosis: selection of isolates for their effects on plant growth in axenic conditions. *Acta Botanica Gallica*, **151**(4):429-440. IF : 0,212

- 13- Ducouso M., Bourgeois C.,** Buyck B., Eyssartier G., Vincelette M., Rabevohitra R., Béna G., Randrihasipara L., Dreyfus B., Prin Y. (2004) – The last common ancestor of Sarcolaenaceae and Asian dipterocarp trees was ectomycorrhizal before the India-Madagascar separation, about 88 million years ago. *Molecular Ecology*, **13**:231-236. IF : 4,375
- 14- Ducouso M.,** Contesto C. Cossegeal M., Prin Y., Rigault F. Eyssartier G. (2004) – *Cantharellus garnierii* sp. nov., une nouvelle chanterelle des maquis miniers nickélifères de Nouvelle-Calédonie. *Cryptogamie, Mycologie*, **25**: 115-125. IF : 0,250
- 15- Zakhia F., Ducouso M.,** Mondolot L., Cleyet-Marel J.C., Andary C. (2003) - Spot inoculation of *Medicago laciniata* root by *Sinorhizobium meliloti* C1-4 or *Glomus* sp. S043 induces local accumulation of Flavonoids. *Acta Botanica Gallica*, **150**(3):275-283. IF : 0,212
- 16- Prin Y.,** Galiana A., Le Roux C., Méléard B., Razafimaharo V., **Ducouso M.,** Chaix G. (2003) - Molecular tracing of *Bradyrhizobium* strains helps to correctly interpret *Acacia mangium* response to inoculation in a forestation experiment in Madagascar. *Biology and Fertility of Soils*, **37**:64-69. IF : 1,276
- 17- Duponnois R.,** Founoune H., Ba A., Plenchette C., Eljaafari S., Neyra M., **Ducouso M.** (2000) - Ectomycorrhization of *Acacia holosericea* A. Cunn. Ex G. Don by *Pisolithus* spp. in Senegal: Effect on plant growth and on the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Annals of Forest Science*, **57**(4): 345-350. IF : 1,407
- 18- Diallo A.T.,** Samb P.I., **Ducouso M.** (1999) - Arbuscular mycorrhizal fungi in the semi-arid areas of Senegal. *European Journal of Soil Biology*, **35**(2):65-75. IF : 0,776
- 19- Ingleby K.,** Diagne O., Deans J.D., Lindkey D.K., Neyra M., **Ducouso M.** (1997) - Distribution of roots, arbuscular mycorrhizal colonisation and spores around fast growing tree species in Senegal. *Forest Ecology and Management*, **90**:19-27. IF : 1,522
- 20- Colonna J.P.,** Thoen D., **Ducouso M.,** Badji S. (1991) - Comparative effects of *Glomus mosseae* and P fertilizer on foliar mineral composition of *Acacia senegal* seedlings inoculated with *Rhizobium*. *Mycorrhiza*, **1**:35-38. IF : 1,744
- 21- Thoen D., Ducouso M.** (1989) - Mycorrhizal habit and sclerogenesis of *Phlebopus sudanicus* (Gyrodontaceae) in Senegal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **28**:519-523. IF : 1,207
- 22- Prin Y.,** Neyra M., **Ducouso M.,** Dommergues Y.R. (1989) - Viabilité d'un inoculum déterminée par l'activité réductrice de l'INT. *L'Agronomie Tropicale*, **44**:13-19. IF : 0,851
- 23- Badji S., Ducouso M.,** Gueye M., Colonna J.P. (1988) - Fixation biologique de l'azote et possibilité de nodulation croisée chez les deux espèces d'acacias producteurs de gomme dure: *Acacia senegal* (L.) Willd. et *Acacia laeta* R. Br. ex Benth. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, **307**:663-668. IF : 0,875

1.2. Publications dans des revues sans facteur d'impact ISI

- 24- Zaremski A.,** Bakkali-Yakhlef S., Chaintreuil C., Abbas Y., Prin Y., Abourouh M., **Ducouso M.,** Baudasse C. (2006) - Caractérisation moléculaire du M'jej, agent de dépérissement des cédraies du Maroc. *Bois et forêts des tropiques*, **291**:67-72.
- 25- Ducouso M.,** Abourouh M., Nourissier-Mountou S., Tellal M., **Echbab H.,** Prin Y., Arahou M. (2003) - Les microorganismes symbiotiques associés aux racines de *Casuarina cunninghamiana* et de *C. glauca* au Maroc. *Annales de la recherche forestière au Maroc*, **36**:9-25.
- 26- Ducouso M.,** Bâ A.M., Thoen D. (2003) - Les champignons ectomycorhiziens des forêts naturelles et des plantations d'Afrique de l'ouest: une source de champignons comestibles. *Bois et Forêts des Tropiques*, **275**:51-63.

- 27- Zaremski A.**, Touboul J., Prin Y., Chaintreuil C., Fouquet D., **Ducouso M.** (2002) - DNA sequencing: a basic tool for the identification of wood decaying fungi in service wood. *IRG/WP 99-60113*, **33**:12-16.
- 28- Diallo A.T.**, Samb P.I., **Ducouso M.** (1999) – Distribution et diversité des champignons endomycorhiziens (Glomales) du Sénégal. *Tropicultura*, **16-17**:161-166.
- 29- Zaremski A.**, **Ducouso M.**, Prin Y., Fouquet D. (1999) - CIRAD creates a molecular data bank of wood decaying fungi. *IRG/WP 99-60113*, **30**:94.
- 30- Zaremski A.**, **Ducouso M.**, Prin Y., Fouquet D. (1998) - Caractérisation moléculaire des champignons lignivores. Utilisation d'une nouvelle technique. *Bois et Forêts des Tropiques*, **257**:63-69.
- 31- Batcho M.**, **Kané A.**, **Ducouso M.**, Coly E.V. (1995) - Effets des endomycorhizes et du Basamid (Dazomet) sur la croissance et la formation des bulbes de plants d'oignon (*Allium cepa* L.) cultivés sur un sol infesté par *Pyrenochaeta terrestris* (Hansen) gorenz, Walker et Larson au Nord Ouest du Sénégal. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire Cheikh Anta Diop, Dakar*, **48**:15-25.
- 32- Batcho M.**, **Kané A.**, Thiam M.L., Duponnois R., **Ducouso M.** (1994) - Effets de quatre inoculums endomycorhiziens et du Basamid sur le développement racinaire de plants d'oignon (*Allium cepa* L.) cultivés sur un sol infesté par *Pyrenochaeta terrestris* (Hansen) gorenz, Walker et Larson. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire Cheikh Anta Diop, Dakar*, **47**:11-32.
- 33- Ducouso M.**, Colonna J.P., Thoen D. (1991) - Occurrence of nodulation in Senegal among woody perennial legumes. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports*, **9**:53-55
- 34- Brunck F.**, Colonna J.P., Dommergues Y.R., **Ducouso M.**, Galiana A., Prin Y., Roederer Y., Sougoufara B. (1990) - La maîtrise de l'inoculation des arbres avec leurs symbioses racinaires. Synthèse d'une sélection d'essais au champ en zone tropicale. *Bois et Forêts des Tropiques*, **223**:24-42.
- 35- Colonna J.P.**, **Ducouso M.**, Badji S. (1990) - Establishment in a sterilized Dior soil of a tripartite symbiosis: *Acacia senegal* (L.) Willd. - *Rhizobium* sp. ORS1007 - *Glomus mosseae* Nicol. et Gerd. *Bulletin of the International Group for the Studies of Mimosoideae*, **18**:105-111.
- 36- Badji S.**, Thoen D., **Ducouso M.**, Colonna J.P. (1990) - Effect of the addition of phosphorus with *Rhizobium* inoculation on the nodulation and the growth of two species of gum arabic trees. In: Maximiser la fixation biologique de l'azote pour la production agricole et forestière en Afrique. *Collection Actes de l'ISRA*, **2**:54-62.
- 37- Ducouso A.**, **Ducouso M.** (1989) - Des plantations de frênes réussies. *Forêt-Entreprise*, **64**:28-31.
- 38- Ducouso M.**, Badji S., Colonna J.P., Thoen D. (1989) - Growth and nitrogen fixing abilities of three Australian and two African *Acacia* species. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports*, **7**:40-42.
- 39- Thoen D.**, **Ducouso M.** (1989) - Champignons et ectomycorhizes du Fouta Djallon. *Bois et Forêts des Tropiques*, **221**:45-63.
- 40- Badji S.**, **Ducouso M.**, Gueye M., Colonna J.P. (1988) - Effets de l'inoculation par diverses souches de *Rhizobium* du Sénégal sur les deux principaux acacias gommiers en culture semi-aseptique. *Collection Actes de l'ISRA*, **1**:171-179.

1.3. Chapitres d'ouvrage

- 41- Ducouso M.**, Bâ A.M., Thoen D. (2002) - Ectomycorrhizal fungi associated with native and planted tree species in West Africa: a potential source of edible mushrooms. *In: Edible mycorrhizal mushrooms and their cultivation* (Eds. : Hall I., Yun W., Danell E., Zambonelli A.), New Zealand Institute for crop & food research Limited, ISBN 0-478-10829-X, pp. 1-9.
- 42-** Duponnois R., Senghor K., Ba A.M., **Ducouso M.**, Cadet P. (1998) - Interactions entre les symbioses bactériennes et fongiques et les nématodes à galles chez *Acacia holosericea*. *In: L'acacia au Sénégal* (Eds. : Campa C., Grignon C., Guèye M., Hamon S.) ORSTOM, pp. 413-422.
- 43- Ducouso M.**, Badji S., Colonna J.P. (1994) - Croissance en hauteur de jeunes *Acacia ampliceps* B.R. Maslin en fonction du sol, de sa préparation et de l'inoculation rhizobienne. *In: Recent developments in Biological nitrogen fixation research in Africa* (Eds. : Sadiki M., Hilali A.), pp. 228-238.
- 44- Ducouso M.**, Colonna J.P. (1992) - Endomycorrhiza infection in young *Faidherbia albida*: influence on growth and development. *In: Faidherbia albida in the West African semi-arid tropics: (Ed. : R.J. Vandenbelt). Patancheru, A.P. 502324, India: International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics; and Nairobi, Kenya: International Centre for Research in Agroforestry*, pp. 151-156.
- 45- Ducouso M.**, Colonna J.P., Badji S., Thoen D. (1991) - Influence de l'azote et du phosphore sur l'établissement de la symbiose quadripartite: *Acacia holosericea-Bradyrhizobium* sp. - *Glomus mosseae-Pisolithus* sp. *In: Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides* (Eds. : Riedacker A., Dreyer E., Pafadnam C., Joly H., Bary G.), John Libbey Eurotext, pp. 215-228.
- 46-** Colonna J.P., **Ducouso M.**, Badji S. (1991) - Peut-on améliorer la croissance de l'*Acacia senegal* (L.) Willd. et du modèle symbiotique "*Acacia senegal-Rhizobium*"? *In: Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides* (Eds. : Riedacker A., Dreyer E., Pafadnam C., Joly H., Bary G.), John Libbey Eurotext, pp. 195-204.
- 47- Ducouso M.**, Thoen D. (1991) - Les types mycorrhiziens des *Acacieae*. *In: Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides* (Eds. : Riedacker A., Dreyer E., Pafadnam C., Joly H., Bary G.), John Libbey Eurotext, pp. 175-182.
- 48-** Badji S., **Ducouso M.**, Thoen D., Colonna J.P. (1989) - Influence de la double inoculation *Rhizobium-Glomus mosseae* sur la nodulation et la croissance de jeunes *Acacia laeta* R. Br. ex Benth. *In: Trees for development in Sub-Saharan Africa* (Ed. : ICRAF, HQ), Nairobi, Kenya, pp. 323-329.

1.4. Présentations orales (O) et posters (P) à des congrès

- Bakkali Yakhlef S., Abourouh M., Kerdouh B., El Mnouar E., Legname E., Delaruelle C., **Ducouso M.**, Mousain D. (2007) - Analyse de la variabilité intraspécifique des *Pisolithus* spp. du Chêne-liège au Maroc. 2^{ième} Assises de la Recherche Forestière, 17 et 18 Mai 2007, Kénitra, Maroc (O).
- 49- Zaremski A.**, Bakkali-Yakhlef S., Chaintreuil C., Abbas Y., Prin Y., Abourouh M., **Ducouso M.**, Baudasse C. (2006): Molecular characterization of M'jej, decaying agent of cedar forests in Morocco. *In: Proceedings of the International Research Group on Wood Protection (IRG)*, Tromsø (Norvège) IRG/WP 06-10593 (O).
- 50-** de Faria S.M., Prin Y., **Ducouso M.**, Dreyfus B. (2007) - The participation endomycorrhizal fungi in the *Burkholderia* sp. root infection in *Gleditsia triacanthos*. 15th International Conference on Nitrogen Fixation, 21-26 January 2007 Cape Town, Western Cape, South Africa (O).

- 51- Lagrange A.**, Ambrosi J.P., L'Huillier L., Amir H., **Ducousso M.** (2006) – Understanding N and P plants nutrition in lateritic soils of New Caledonia : Methodological approach. Fifth International Conference on Serpentine Ecology, 9-13 May 2006 Siena, Italy (P).
- 52- Perrier N., Ducousso M.**, Colin F., Jaffré T., Rigault F., Dreyfus B., Prin Y. (2005) - The management of the ectomycorrhizal symbioses: a key factor to succeed ecological restoration of mine sites in New Caledonia. Ecological Restoration, Zaragoza, Spain, 13-17 Sept 2005 (O et P).
- 53- Kerdouh B., Mousain D., Prin Y., Abourouh M., Ducousso M.** (2005) – *Pisolithus albus* et *P. microcarpus* partenaires ectomycorhiziens spontanés d'*Eucalyptus camaldulensis* au Maroc. Journées du réseau de mycologie de la Société Française de Microbiologie, 2-4 février 2005, Marseille, France, AC39 (O)
- 54- Ducousso M.**, de Faria S.M., Galiana A., Prin Y. (2004) - Mycorrhizas, Partners of the nitrogen fixing symbioses. 11^{ième} AABNF, 21-27 novembre, Dakar, Sénégal (O)
- 55- Kané A., Ducousso M.**, Samba M.M., Noba K., Bâ A.T., Dreyfus B. (2004) Diversité des champignons mycorrhiziens arbusculaires (MA) associés au mil et à l'arachide au Sénégal. 11^{ième} AABNF, 21-27 novembre, Dakar, Sénégal (P)
- 56- Ducousso M.** (2004) - Diversification et amélioration de la qualité de la production agricole périurbaine à Phnom Penh et à Vientiane en vue d'améliorer les conditions de vie des fermiers les plus pauvres. Réunion agriculture périurbaine (Debond H., Kahane R. eds), 1^{ier} septembre 2004, Cirad, Montpellier (O)
- 57- Perrier N., Ducousso M., Rivière T.**, Tassin J., Dumontet V., Contesto C., Cossegal M., Amir H., Nourissier-Mountou S., Boucher M., Dreyfus B., Colin F., Prin Y. (2003) - Les symbioses ectomycorhiziennes : potentialités pour la restauration écologique des sites miniers. Application au massif du Koniambo en Nouvelle-Calédonie. Ecosystème Tropicaux, 1-2 avril 2003, Engref, Paris (P)
- 58- Perrier N., Ducousso M., Rivière T.**, Tassin J., Dumontet V., Contesto C., Cossegal M., Amir H., Nourissier-Mountou S., Boucher M., Dreyfus B., Colin F., Prin Y. (2003) - Importance of ectomycorrhizal fungi in ecological restoration of mining sites in New Caledonia. Préservation et restauration écologique en environnement tropical minier, 15-20 Juillet 2003, Nouméa, Nouvelle-Calédonie (O)
- 59- Zaremski A.**, Touboul J., Chaintreuil C., Prin Y., Bailly X., Dreyfus B., Fouquet D., **Ducousso M.** (2003) - Diversité des Aphyllophorales impliquées dans la dégradation du bois. Colloque d'Ecologie Microbienne, 25-28 mai 2003, Carry le Rouet, France (P)
- 60- Ducousso M., Bourgeois C.**, Buyck B., Eyssartier G. Vincelette M., Rabevohitra R., Béna G., Randrihasipara L., Dreyfus B., Prin Y. (2003) - Les symbioses ectomycorhiziennes existaient il y a plus de 87,6 millions d'années. Colloque d'Ecologie Microbienne, 25-28 mai 2003, Carry le Rouet, France (O)
- 61- Rivière T.**, Senthilarasu G., Natarajan K., **Ducousso M.**, Buyck B., Diabaté M., Randrihasipara L., Béna G., Bâ A.M., Dreyfus B. (2003) - Diversité génétique et phylogéographique des champignons ectomycorhiziens tropicaux de la famille des Russulaceae. Colloque d'Ecologie Microbienne, 25-28 mai 2003, Carry le Rouet, France (P)
- 62- Thoen D., Abourouh M., Ducousso M.** (2001) - Ectomycorrhizal fungi associated with Eucalypts in Africa and Madagascar. ICOM3, Adelaide, Australie, P1-168 (P)
- 63- Ducousso M.**, Vaesken M., Prin Y., Thoen D. (2001) - *Pisolithus*: a world wide ectomycorrhizal partner. ICOM3, Adelaide, Australie, P2-88 (P)
- 64- Rivière T.**, Diabaté M., **Ducousso M.**, Prin Y., Dreyfus B., Buyck B., Eyssartier G., Verbecken A., Deschères P., Ba A.M. (2001) - Diversity of ectomycorrhizal fungi associated with some native trees in Southern Guinea. ICOM3, Adelaide, Australie, P1-182 (P)

- 65- Weber J.**, Crassard O., Lee S.K., Tham F.Y., Prin Y., Durand P.Y., **Ducousso M.** (2001) - Using alginate as a sticking agent for production of AM seedlings of *Acacia mangium* (Willd.) in aeroponic culture. *ICOM3, Adelaide, Australie*, P1-27 (P)
- 66- Ducousso M.**, Ba A.M., Thoen D. (2001) - Ectomycorrhizal fungi associated with native tree species in West Africa: a potential source of edible mushrooms. *2nd International workshop on edible mycorrhizal mushrooms, 3-6 juillet, Christchurch, Nouvelle Zélande* (O)
- 67- Ducousso M.**, Contesto C., Jaffre T., Rigault F., Reddell P., Dreyfus B., Prin Y. (2001) - Molecular and cytological characterisation of a *Glomus* sp. able to induce mycorrhizas in *Casuarinaceae*. *12th International Meeting on Frankia and Actinorrhizal Plants, 17-21 juin 2001, Carry le Rouet, France* (O)
- 68- Ducousso M.**, Abourouh M., Arahou M., Tellal M., Nourissier-Mountou S., Dreyfus B., Prin Y. (2001) - Mycorrhizal habit of *Casuarina cunninghamiana* and *C. glauca* in Central Morocco. *12th International Meeting on Frankia and Actinorrhizal Plants, 17-21 juin 2001, Carry le Rouet, France* (P)
- 69- Tellal M.**, Prin Y., Abourouh, M., **Ducousso M.**, Dreyfus B., Arahou M. (2000) - Nursery inoculation of *Casuarina* spp. with *Frankia* strain RT in Morocco: first results before transfer to the field. *Mediterranean conference on Rhizobiology, 9-13 juillet 2000, Montpellier, France* (P)
- 70- Ba A.M.**, Buyck, B., Descheres P., Eyssartier G., Ifono F.G., **Ducousso M.**, Wey J., Giraud E., Fontana A., Diallo M.A.K., Dreyfus B. (2000) - Diversity and use of ectomycorrhizal fungi in Guinea tropical rain forest. *COST 830, Selection strategies for plant-beneficial microorganisms, 3-5 avril 2000, Nancy, France* (P)
- 71- Ducousso M.**, Thoen D. (1999) - Linking molecular analysis to morphological, anatomical and ecological data within the genus *Pisolithus*. *XIII Congress of European Mycologists, 21-25 septembre 1999, Alcalá de Henares, Espagne*, 34 (O)
- 72- Vincelette, M.**, **Ducousso M.**, Randrihasipara L., Rabevohitra R., Dreyfus B. (1999) - New ectomycorrhizas in tropical coastal rainforests in Madagascar. *Tropical restoration for the new millenium, 23-28 mai 1999, Porto Rico* (P)
- 73- Ducousso M.**, Louppe D., Ouattara N., Eyssartier G., Buyck B. (1999) - Des mycorhizes très diversifiées dans les jachères naturelles au Nord de la Côte d'Ivoire. *La jachère en Afrique tropicale, rôle, aménagements, alternatives, 13-16 avril 1999, Dakar, Sénégal*, 126 (O)
- 74- Ducousso M.**, Ouattara N., Nourissier-Mountou S., Louppe D. (1999) - La jachère ligneuse influence la mycorhization du maïs dans le Nord de la Côte d'Ivoire. *La jachère en Afrique tropicale, rôle, aménagements, alternatives, 13-16 avril 1999, Dakar, Sénégal*, 125 (O)
- 75- Ducousso M.**, Abourouh M., Honrubia M., Mousain D. (1998) - Characterisation of *Pisolithus* spp. using PCR/RFLP of rDNA Internal Transcribed Spacer. *ICOM2, Uppsala, Suède*, 54 (P)
- 76- Zaremski A.**, **Ducousso M.**, Prin Y., Fouquet D. (1997) - Molecular characterisation of tropical wood-decaying fungi by RFLP analysis of PCR amplified rDNA. *IUFRO international Conference, 7-12 juillet 1997, Pullman, Washington, USA* (P)
- 77- Ducousso M.**, Duponnois R., Thoen D. (1995) - *Pisolithus* sp. host range in Senegal and infectiveness on some Australian and African *Acacia*. *3rd conference on Forest Soils, 29 octobre au 9 novembre 1995, Balikpapan, Indonésie* (O)
- 78- Ducousso M.**, Gueye M., Duponnois R., Batcho M., Dreyfus B. (1994) - Agroforesterie et recherche sur les mycorhizes au Sénégal. *Séminaire international sur l'agroforesterie au Sahel, 26-30 septembre 1994, Dakar, Sénégal* (O)

- 79- Ducouso M.**, Duponnois R., Ndiaye B., Batcho M., Guèye M. (1994) - Deux espèces d'acacias non nodulés au Sénégal? 6^{ième} AABNF, 12-17 septembre, Harare, Zimbabwe (O)
- 80- Sougoufara B., Ducouso M.**, Dreyfus B. (1994) - Utilisation des arbres fixateurs d'azote inoculés pour l'amélioration de la jachère en Casamance. 6th AABNF, 12-17 September, Harare, Zimbabwe (O)
- 81- Diallo A.T.**, Samb I., Batcho M., **Ducouso M.** (1994) - Caractérisation de quelques champignons endomycorhiziens du Sénégal. 6^{ième} AABNF, 12-17 septembre, Harare, Zimbabwe (P)
- 82- Sougoufara B., Ducouso M.**, Dreyfus B. (1993) - La réponse de *Faidherbia albida* A. Chev. et *Acacia mangium* Willd. à l'inoculation au champ avec des souches de *Bradyrhizobium* sp. *Atelier sur les symbioses Acacia-Rhizobium*, 24-25 juin 1993, Nogent-sur-Marne, France (O)
- 83- Ducouso M., Diallo A.T.**, Samb I., Batcho M. (1993) - Observations préliminaires des spores de *Glomales* dans deux parcs à *Faidherbia albida* A. Chev. au Sénégal. *Atelier sur les symbioses Acacia-Rhizobium*, 24-25 juin 1993, Nogent sur Marne, France (O)
- 84- Ducouso M.**, Diatta M., Bodian A. (1993) - Effect of different soil conservation practices upon VA spore populations: first observations in Central-South Senegal. 9th NACOM, 8-12 août 1993, Guelph, Ontario, Canada (P)
- 85- Colonna J.P., Badji S., Ducouso M.** (1991) - Le phosphore et l'optimisation du fonctionnement des symbioses rhizobiennes : un exemple de recherches de laboratoire devant se poursuivre aux champs. *La recherche, un facteur déterminant du développement*, 4-11 avril 1991, Antananarivo, Madagascar (O)

1.5. Autres publications

- 86- Ducouso M.** (2003) - Mushroom production, harvest and commercialisation. LAO-2-04 project of the Asia URBS program from the European Commission. *Rapport d'une mission au Laos du 23 au 30 mars 2003*
- 87- Ducouso M.** (2003) - Mushroom production, harvest and commercialisation. KHM-2-03 project of the Asia URBS program from the European Commission. *Rapport d'une mission au Cambodge du 30 mars au 9 avril 2003*
- 88- Prin Y., Ducouso M.** (2002) - Symbioses *Casuarina*-microorganisms: use of *Frankia* and mycorrhizal fungi biodiversity to enhance tree growth. Projet PRAD N°00/19. *Rapport d'un mission au Maroc du 16 au 22 décembre 2002*
- 89- Ducouso M., Prin Y.** (2002) - Mycorrhizal nodules in Australia and New-Caledonia. REDDEL-124 project co-funded by the French embassy in Canberra and the AAS. *Rapport d'une mission en Nouvelle-Calédonie et au Nord Queensland du 19 juin au 5 juillet 2002*
- 90- Ducouso M.** (2002) - Establishment and diversification of the supply of the city of Vientiane in edible mushrooms. LAO-2-04 project of the Asia URBS program from the European Commission. *Rapport d'une mission au Laos du 2 au 7 et du 13 au 18 février 2002*
- 91- Ducouso M.** (2002) - Establishment and diversification of the supply of the city of Phnom Penh in edible mushrooms. KHM-2-03 project of the Asia URBS program from the European Commission. *Rapport d'un mission au Cambodge du 7 au 13 février 2002*
- 92- Ducouso M.** (2001) – Prospecting of root myco-nodules of *Gymnostoma australianum*. *Rapport d'une mission au Nord Queensland, Australie du 14 au 17 juillet 2001*

- 93- Prin Y., Ducouso M.** (2001) - Symbioses *Casuarina*-microorganisms: use of *Frankia* and mycorrhizal fungi biodiversity to enhance tree growth. Projet PRAD N°00/19. *Rapport d'une mission au Maroc du 1 au 7 décembre 2001*
- 94- Ducouso M., Favre J.M.** (2001) – Support mission to Jean Weber, PhD student working at Nanyang Technological University. *Rapport d'une mission à Singapour 29 juin et 18 au 23 juillet 2001*
- 95- Ducouso M., Safou-Matondo R.** (2000) - Principales caractéristiques des champignons ectomycorhiziens récoltés dans les plantations forestières industrielles de la région de Pointe Noire, Congo. *Rapport CIRAD-Forêt, Montpellier, et UR2PI, Pointe Noire, Congo*, 14 p.
- 96- Prin Y., Ducouso M.** (2000) - Symbioses *Casuarina*-microorganisms: use of *Frankia* and mycorrhizal fungi biodiversity to enhance tree growth. Projet PRAD N°00/19. *Rapport d'une mission au Maroc du 4 au 10 décembre 2000*
- 97- Ducouso M.** (2000) – The TQS (Total Quality Sapling) project developed jointly by NTU-NIE, the forestry department of CIRAD and the French Embassy in Singapore. *Rapport d'une mission à Singapour et en Malaisie du 14 au 23 novembre 2000*
- 98- Ducouso M.** (2000) - Recherche de souches mycorrhizogènes et aptitude à la mycorrhization des feuillus méditerranéens et du Pin noir de Salzmann. Projet co-financé par la "Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt du Languedoc-Roussillon" (DRAF-LR) et "l'Institut National de la Recherche Agronomique, Montpellier (INRA). *Rapport sur les recherches conduites entre juin 1996 et mai 2000*
- 99- Prin Y., Ducouso M.** (2000) - Assessment of the effect of BIORIZE endomycorrhizal inoculants on *Acacia mangium* growth and performance. *Rapport final*.
- 100- Ducouso M.** (1999) – Importance of Endo and Ecto mycorrhizae in mine site rehabilitation. *Rapport d'une mission à Madagascar du 20 janvier au 2 février 1999*
- 101- Ducouso M.** (1998) – Opportunity for further collaboration in South East Asia with a scientific back up in Singapore. *Rapport d'une mission à Singapour du 18 au 23 juin 1998*
- 102- Ducouso M.** (1998) – Prospecting of mycorrhizae in pulp tree plantings. *Rapport d'une mission au Sabah, Malaisie du 24 au 29 juin 1998*
- 103- Lesueur D., Ducouso M.** (1998) – Synthesis of the main results obtained in the field of mycorrhizae and mycorrhization in West African Agro-forestry system. *Rapport d'une mission en Côte d'Ivoire du 15 au 26 octobre 1998*
- 104- Ducouso M.** (1996) - Synthèse bibliographique des résultats acquis en matière de mycorrhization du genre *Eucalyptus*. *Document CIRAD-Forêt*
- 105- Ducouso M.** (1995) – Importance and role of mycorrhizae in West African fallow system. *Rapport d'une mission en Côte d'Ivoire du 11 au 21 octobre 1995*
- 106- Ducouso M., Sougoufara B., Dupuy N., Dreyfus B.** (1995) - Rôle de deux acacias (*Acacia mangium* et *Acacia albida*) dans le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols en basse Casamance. *Programme MESR N° 91 L 0685, rapport final*.
- 107- Ducouso M.** (1991) - Importance des symbioses racinaires pour l'utilisation des acacias en Afrique de l'Ouest. *Thèse, Université Claude Bernard, Lyon I. (Eds.: CIRAD-ISRA), Nogent sur Marne, France et Dakar, Sénégal*, 205 p.
- 108- Ducouso M.** (1987) - Rapport sur les recherches effectuées entre le 17 février 1986 et le 25 mars 1987 sur les symbiotes des légumineuses auprès du Département des Recherches sur les Productions Forestières (DRPF) et l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM). *(Ed.: CTFT/CIRAD), Nogent sur Marne, France*, 66 p.

109- Ducouso M. (1985) - Effets d'une toxine non spécifique produite par *Phoma lingam* (Tode) Desm. : la sirodesmine. *Diplôme d'études approfondies, Université de Lille I*, 41 p.

2. ACTIVITÉS DE FORMATION

2.1. Activités d'enseignement

- Conférence (1h) sur les ectomycorrhizes présentée à l'Université Mohamed V, Rabat, Maroc (2001)
- Conférence (1h) sur l'utilisation des mycorhizes en foresterie, présentée à l'Université Mohamed V, Rabat, Maroc (2000)
- Cours (4h niveau ingénieur) sur la diversité et les rôles fonctionnels des mycorhizes, présenté à "l'École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts", Montpellier, France (1999 à 2001)
- Cours (4h niveau ingénieur) sur l'importance des mycorhizes pour les arbres tropicaux, présenté à "l'École Nationale Supérieure d'Agronomie", Montpellier, France (1995)
- Travaux pratiques (12h niveau DEA) sur : - La caractérisation des endomycorrhizes et des ectomycorrhizes, - L'extraction des spores de champignons mycorhiziens arbusculaires du sol, - La coloration des racines pour la mise en évidence des infections par les mycorhizes arbusculaires, réalisés à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal (1994)
- Cours (4h niveau DEA) sur la taxinomie des *Glomales*, présenté à l'University Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal (1994)
- Conférence (2h) sur la caractérisation des endomycorrhizes, présentée au "Cours International sur les Arbres Fixateurs d'Azote" (CIAFA), Dakar, Sénégal (1993)
- Conférence (2h) sur les spores des mycorhizes arbusculaires, présentée au cours régional de l'ISRA/MIRCEN à Bambey, Sénégal (1991)
- Travaux (4h) pratiques sur l'extraction et l'observation des spores de champignons mycorhiziens arbusculaires, réalisés au cours régional de l'ISRA/MIRCEN à Bambey, Sénégal (1991)

2.2. Formation des étudiants à la recherche

Thèse

Lagrange A. – Nutrition azotée et phosphatée de *Costularia comosa* (C.B.Clarke) Kük. et *Schoenus neo-caledonicus* C.B.Clarke (Cypéracées) dans les sols ferrallitiques de Nouvelle-Calédonie : application à la restauration écologique des sites miniers. Thèse de l'Université de Nouvelle-Calédonie, soutenance prévue en 2008. Ma participation à son encadrement à part égale avec le professeur Amir H. de l'Université de Nouvelle-Calédonie, a permis la réalisation de la publication 51 ; deux publications, une concernant la diversité bactéries rhizosphériques de *Costularia* spp. (Cyperaceae) et l'autre concernant les rôles fonctionnels (tolérance au nickel et solubilisation du phosphore) sont en cours de rédaction.

Perrier N. – Bio-géodiversité fonctionnelle des sols latéritiques miniers : application à la restauration écologique (massif du Koniambo, Nouvelle-Calédonie). Thèse de l'Université de Nouvelle-Calédonie, 11 juillet 2005. À la date de son décès, Nicolas était en stage post-doctoral sur un financement de Falconbridge SA dans le cadre de la poursuite des travaux initiés dans le cadre de sa thèse. Ma participation à son encadrement en appui scientifique à la partie « mycorhizes » (25 % de son travail dirigé par H. Amir) a permis la réalisation des publications 52, 57, 58.

Zaremski A. – Les Aphyllophorales impliqués dans la dégradation du bois : caractérisation taxinomique, phylogénie et détection précoce des champignons dans le bois. Thèse de l'Université de Provence, Aix Marseille I, France, 14 juin 2005 (Membre du comité de thèse et examinateur). Alba est actuellement chercheur du Cirad (CDI) au sein de l'unité de recherche sur les bois tropicaux. Ma participation à son encadrement en quasi substitution de son directeur de thèse (Clément G.), a permis la réalisation des publications 9 (IF : 1,446), 24, 27, 29, 30, 49, 59, 76 et la préparation d'un manuscrit : **Zaremski A.**, Bailly X., Béna G., Chaintreuil C., Joly H., Sales C., Dreyfus B., Prin Y., **Ducousso M.** (2007) - Molecular markers and fungal taxonomy: the case of the rDNA Inter Transcribed Spacer and wood decaying Basidiomycetes. *Molecular Ecology* (en préparation pour 2007).

Echbab H. – Les symbioses *Casuarina* microorganismes, utilisation de la biodiversité des *Frankia* et des mycorrhizes pour améliorer la croissance des arbres. Thèse de l'Université Mohamed V de Rabat, Maroc, 6 mai 2005 (Membre du comité de thèse et rapporteur). Hakima accompagne actuellement son mari enseignant à l'Université de Djedda, Arabie Saoudite et recherche activement un stage post-doctoral pour 2006. Ma participation à son encadrement à part égale avec le partenaire marocain de l'Université Mohamed V de Rabat (M. Arahou), a permis la réalisation des publications 1 (IF : 2,213), 12 (IF : 0,212) et 25 (IF : 2,127).

Weber J. – Étude des interactions multiples entre *Acacia mangium* et ses partenaires symbiotiques (*Rhizobium*, endomycorrhizes et ectomycorrhizes) en aéroponie et autres systèmes. Thèse de l'Université Henri Poincaré de Nancy, France, 12 novembre 2004 et de la Nanyang Technological University de Singapour, 22 août 2005 (Membre du comité de thèse et examinateur). Jean est actuellement boursier de l'institut Smithsonian dans le cadre d'un stage post-doctoral en Malaisie pour l'analyse de la diversité mycorrhizienne dans la forêt de Pasoah. Ma participation à son encadrement dans le cadre d'un partenariat entre l'Université Nanyang de Technologie de Singapour (S.K. Lee), l'Université Henri Poincaré de Nancy (J.M. Favre) et le Cirad a exigé de ma part une grande disponibilité pour des déplacements de terrain et une assistance scientifique et technique à distance par téléphone et mail. Ce co-encadrement à parts égales entre la France et Singapour a permis la réalisation des publications 2 (IF : 0,113) ; 8 (IF : 1,407), 10 (IF : 1,276), 65 et la préparation d'un manuscrit : **Weber J.**, Prin Y., Reddell P., Nourissier-Mountou S., Lee S.K., Bâ A.M., **Ducousso M.** (2007) - Ectomycorrhizal symbioses with the nitrogen-fixing tree legume *Acacia mangium* Willd. *Mycorrhiza*.

Rivière T. – Diversité génétique, structure des populations et phylogéographie des champignons ectomycorhiziens tropicaux. Thèse de l'Université de Montpellier II, France, 6 juillet 2004 (Membre du comité de thèse). Taiana est actuellement en stage post-doctoral au Vietnam dans le cadre du Cirad pour une étude sur la diversité génétique des buffles d'eau. Ma participation à son encadrement dirigé par B. Dreyfus, principalement en appui scientifique à la partie « mycologie tropicale » de son travail (25 %) a permis la réalisation des publications 57, 58, 61, 64 et la préparation d'un manuscrit : **Ducousso M.**, Ramanankierana N., Duponnois R., Rabévoitra R., Bourgeois C., **Rivière T.**, Randrihasipara L., Vincelette M., Dreyfus B., Prin Y. (2007) - The mycorrhizal status of native plants from eastern Madagascar littoral forests with special emphasis on two new ectomycorrhizal endemic families: Asteropeiaceae and Sphaerosepalaceae. *Mycorrhiza*.

Diplôme d'études approfondies et Master

Poluté S. (2007) – Recherche des déterminants moléculaires de la tolérance au nickel chez *Pisolithus albus* associé aux *Tristanopsis* spp. dans le massif du Koniambo, Nouvelle-Calédonie. Master, Université de Paris IX, Orsay. Ma participation à son encadrement dirigé par M. Lebrun concerne essentiellement l'écologie de la symbiose ectomycorhizienne (25 % de son travail).

Zakhia F. (2000) - Étude du système racinaire de *Medicago laciniata* infecté par *Sinorhizobium* sp. ou par *Glomus* sp. Diplôme d'études approfondies, Biosciences de l'Environnement, Chimie et Santé, Option Milieux Continentaux, Université d'Aix-Marseille III, 32 p. Frédéric est à la recherche d'un stage post-doctoral après une thèse à l'Université de Montpellier II. Ma participation à son encadrement à parts égales avec Jean-Claude Cleyet-Marel a permis la réalisation de la publication 15 (IF : 0,212).

Bourgeois C. (1999) - Contribution à la caractérisation des symbioses ectomycorhiziennes des forêts littorales du Sud Est malgache: développement d'un outil d'identification moléculaire des partenaires symbiotiques. Diplôme d'études approfondies, Biologie de l'évolution et écologie, Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, 30 p. + annexes. Caroline est actuellement agent immobilier dans l'agence familiale. L'encadrement de Caroline a permis la réalisation des publications 13 (IF : 4,375) et 60.

Kané A. (1994) - Effet de quatre inoculums endomycorhiziens et du Basamid sur le développement de plans d'oignons (*Allium cepa* L.) sur un sol infesté par *Pyrenochaeta terrestris* (Hansen) Gaenz, Walker et Larsen. Diplôme d'études approfondies, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 40 p. Aboubacry est actuellement Maître de Conférence à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar après une thèse de la même Université. L'encadrement d'Aboubacry a permis directement la réalisation des publications 31, 32, 55 et, dans le cadre d'un partenariat débuté en 2003 grâce au soutien du département « formation » de l'IRD de la préparation du manuscrit : **kané A., Ducouso M., Mbaye M.S., Noba K., Bâ A.M., Bâ A.T., Dreyfus B.** (2007) - Diversity of Arbuscular Mycorrhizal fungi associated with millet (*Pennisetum typhoides* Stapf. et Hubbard) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Senegal. *Arid Land Research and Management*.

Diallo A.T. (1994) - Contribution à la caractérisation écologique et taxonomique des *Glomales* du Sénégal, Diplôme d'études approfondies, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 54 p. Ahmed Tidjane est aujourd'hui Directeur de l'école polytechnique de Thiès, Sénégal, après une thèse de l'Université Cheikh Anta Diop. L'encadrement d'Ahmed Tidjane a permis directement la réalisation des publications 18 (IF : 0,776), 28, 81 et 83.

Ingénieur

Riss J. (2007) – Rôle des mycorhizes dans le fonctionnement du bassin versant de la Pandanus, massif du Koniambo, Nouvelle-Calédonie. Diplôme d'Ingénieur de l'École d'Agro-économie Internationale (ISTOM), Promotion 94, Cergy Pontoise, France.

Jedrusiak J. (2003) – Diversification agricole par la production de champignons au Cambodge et au Laos. Diplôme d'Ingénieur de l'École d'Agro-économie Internationale (ISTOM), Promotion 90, Cergy Pontoise, France, 82 p.

Ferchaud S. (2002) – Appui à la production, à la diversification et à la commercialisation de champignons comestibles. Diplôme d'ingénieur Agronome de l'École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires de Nancy, Nancy, France, 34 p.

Crassard O. (2000) - Développement d'une méthode permettant la mycorhization d'*Acacia mangium* en aéroponie à l'échelle de la pépinière. Diplôme d'ingénieur de l'École Nationale Supérieure d'Agronomie, Montpellier, France, 14 p. + annexes.

Zaremski A. (1998) - Caractérisation moléculaire des champignons lignivores de la mycothèque du CIRAD-Forêt. Diplôme d'ingénieur du CNAM, Génie Biologique, 42 p.

Mendou Mendou N. (1996) - Recherche de souches mycorhizogènes et aptitude à la mycorhization de feuillus méditerranéens (alisiers, érables, frênes, sorbiers, tilleuls) et du Pin noir de Salzman. Diplôme d'ingénieur de l'Engref, Montpellier, 25 p.

Diop R. (1995) - Mycorhizes et mycorhization d'*Acacia seyal* en zones salines au Sénégal. Diplôme d'ingénieur de l'Enesad, Dijon, France, 36 p.

Licence et maîtrise

Bonnan S. (2003) – Physiology of the myco nodulating symbiosis between a myco-nodulating strain of *Glomus* and *Gymnostoma* spp. Rapport : Maîtrise de protection des plantes, Université Paul Sabatier de Toulouse, 30 p. + annexes.

Rangin C. (2003) – Molecular characterisation of wood decaying fungi. Rapport : Maîtrise de Biologie, option biologie cellulaire et physiologie, Université de Montpellier II, 36 p.

Contesto C. (2002) – Characterisation of the diversity of myco-nodules occurrence in the New Caledonian and the Australian flora. Rapport : Université de Montpellier II, 48 p. + annexes

Cossegal M. (2002) – Morpho-anatomical and molecular characterisation of ectomycorrhizal fungi collected on mine sites in New Caledonia. Rapport : Maîtrise de Biologie, option biologie cellulaire et physiologie, Université de Montpellier II, 56 p.

Contesto C. (2001) - Caractérisation morpho-anatomique et moléculaire des myconodules et des champignons myconodulants *Gymnostoma* spp. en Nouvelle-Calédonie. Rapport : Maîtrise de Biologie, option biologie cellulaire et physiologie, Université de Montpellier II, 48 p.

Vaesken M. (2001) - Caractérisation morphologique, anatomique symbiotique et moléculaire de champignons ectomycorhiziens du genre *Pisolithus*. Rapport : Maîtrise de Biologie, option biologie cellulaire et physiologie, Université de Montpellier II, 28 p.

Touboul J. (2000) - Caractérisation moléculaire des ITS des Aphyllophorales dégradant le bois. Rapport : Maîtrise de Biologie, option biologie cellulaire et physiologie, Université de Montpellier II, 34 p.

Bourgeois C. (2000) - Caractérisation moléculaire de l'ADNr mitochondriale 18 S de champignons ectomycorhiziens et d'ectomycorhizes d'arbres endémiques de Madagascar. Rapport : Université de Montpellier II, 26 p.

Contesto C. (2000) - Caractérisation morpho-anatomique et moléculaire de champignons ectomycorhiziens associés à *Acacia spirorbis* et *Casuarina collina* en Nouvelle-Calédonie. Rapport : Licence de Biologie, option biologie cellulaire et physiologie, Université de Montpellier II, 40 p.

Zakhia F. (1999) - Étude des *Glomales* de quatre légumineuses croissant naturellement en milieu méditerranéen français. Rapport : Maîtrise de biologie des populations et écosystèmes, Université de Montpellier II, 22 p.

Caumette C. (1997) - Étude par PCR-RFLP de la diversité de l'ADN ribosomal nucléaire chez *Pisolithus* spp. Rapport : Licence de Biologie, option biologie cellulaire et physiologie, Université de Montpellier II, 24 p.

Alcon C. (1996) - Analyse par PCR-RFLP du polymorphisme de l'espaceur interne transcript (ITS) de champignons ectomycorhiziens du genre *Pisolithus*. Licence de Biologie, option biologie cellulaire et physiologie, Université de Montpellier II, 18 p.

Autres stagiaires

Guivarch A. (2002) – Proposition d'amélioration de la culture de pleurote et information sur la ressource en champignons sauvages consommés dans les environs immédiats de Vientiane (Laos). Rapport d'une mission d'appui au projet Asia URBS LAO-2-04, 24 p.

Morvan S. (1999) - Contrôle de la mycorhization dans une plantation d'*Acacia* spp. mise en place à Madagascar. Rapport : DEUG de science de la vie, Denis Diderot Université de Paris VII, 24 p.

Le Conte A.C. (1998) - Conservation et utilisation des *Glomales* (champignons mycorhiziens arbusculaires) de différents feuillus méditerranéens et tropicaux. Rapport : Brevet de Technicien supérieur, Antenne des Barres, Nogent-sur-Vernisson, 73 p.

2.3. Accueil de collègues d'autres laboratoires dans le cadre de projets communs

Chercheur

Abbas Y., Chercheur au Centre de la recherche forestière de Rabat, Maroc (2005) - Caractérisation moléculaire et inoculation contrôlée de *Tetraclinis articulata* par des mycorhizes arbusculaires. Projet PRAD 03/14.

Thoen D., Chercheur émérite de l'Université de Liège, Belgique (2005) – Caractérisation microscopique couplée à l'analyse d'image de sporées de *Pisolithus* spp. et autres gastéromycètes. Projet FUL.

Abbas Y., Chercheur au Centre de la recherche forestière de Rabat, Maroc (2004) - Caractérisation morphologique, anatomique et mise en culture des mycorhizes arbusculaires des tetraclinaies marocaines. Projet PRAD 03/14, 25 p.

Kané A., Maître de Conférence à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (2004) - Caractérisation morphologique, anatomique et moléculaire des champignons mycorhiziens arbusculaires des adventives des cultures du bassin arachidier du Sénégal. Université Cheikh anta Diop de Dakar, 24 p.

Amir H., Maître Assistant à l'Université de Nouvelle-Calédonie (2003) - Caractérisation moléculaire des mycorhizes arbusculaires associées à la végétation des sols nickelifères en Nouvelle-Calédonie. Université de Nouvelle-Calédonie, 18 p.

Abbas Y., Chercheur au Centre de la recherche forestière de Rabat, Maroc (2003) - Diversité et mise en culture des mycorhizes arbusculaires des tetraclinaies marocaines. Projet PRAD 03/14, 25 p.

Kané A., Maître de Conférence à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (2003) - Caractérisation morphologique et anatomique des champignons mycorhiziens arbusculaires des cultures (mil et arachide) du bassin arachidier du Sénégal. Université Cheikh anta Diop de Dakar, 20 p.

Amir H., Maître Assistant à l'Université de Nouvelle-Calédonie (2002) - Caractérisation morphologique, anatomique et mise en culture des mycorhizes arbusculaires associées à la végétation des sols nickelifères en Nouvelle-Calédonie. Université de Nouvelle-Calédonie, 24 p.

Eyssartier G. Étudiant en thèse du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (2000) - Contribution à la systématique du genre *Cantharellus* Juss. : Fr. – Relations phylogénétiques entre Cantharellaceae et genre proches inférées à partir d'analyses de séquences de la grande sous-unité de l'ADNr. Stage dans le cadre d'une thèse préparée au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, France, 9 p.

Diop T.A. Maître de Conférence à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (2000) - Analyse phylogénétique de l'ADNr 18S de *Glomales* du Sénégal. Report: University Cheikh Anta Diop of Dakar, Sénégal and LSTM, Montpellier, France, 15 p.

Ba A.M. Maître Assistant à l'Université des Antilles et de la Guyane (2000) - Diversité génétique et utilisation des champignons ectomycorhiziens dans les forêts tropicales humides en Guinée forestière. Rapport : LSTM Montpellier, France et ISRA Dakar, Sénégal, 38 p.

Abolo D. Chercheur de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement du Cameroun (2000) - Caractérisation morpho-anatomique des Glomales du caféier au Cameroun. Rapport : IRAD, Cameroun et LSTM France, 18 p.

Eyssartier G. Étudiant en thèse du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (1999) - Contribution à la systématique du genre *Cantharellus* Juss. : Fr. Analyse du polymorphisme des ITS. Stage dans le cadre d'une thèse préparée au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, France, 6 p.

Technicien et Ingénieur

Sy S., Technicien de laboratoire au Centre IRD de Ouagadougou, Burkina Faso (2005) – Techniques de caractérisation des mycorhizes arbusculaires. Formation continue IRD.

Médevielle V. Technicienne de laboratoire à l'Université de Nouvelle-Calédonie (2005) – Techniques et organisation pour l'analyse moléculaire des mycorhizes arbusculaires. Formation continue de l'Université de Nouvelle-Calédonie.

Tellal M., Technicien de laboratoire au Centre de la recherche forestière de Rabat, Maroc (2002) – Cinétique d'établissement de la mycorhization en pépinière chez *Casuarina glauca* et *C. cunninghamiana*. Rapport : Projet PRAD 00/19, 42 p.

Tellal M., Technicien de laboratoire au Centre de la recherche forestière de Rabat, Maroc (2000) - Importance des symbioses racinaires chez *Casuarina glauca* et *C. cunninghamiana*. Rapport : Projet PRAD 00/19, 23 p.

Rigault F., Technicien de laboratoire au Centre IRD de Nouméa (1999) – Techniques de caractérisations des champignons ectomycorhiziens. Formation continue IRD.

Kerdouh B. Technicien de laboratoire au Centre de la recherche forestière de Rabat, Maroc (1998) - Caractérisation par PCR-RFLP de l'ITS de 75 sporophores de *Pisolithus* spp. récoltés sur 0,25 ha d'une plantation d'*Eucalyptus camaldulensis* au Maroc. Rapport : Projet de Recherche en Coopération, Maroc-France 96/01, 12 p.

3. PARTICIPATIONS À DES PROJETS ET MISSIONS

3.1. Participation à des projets de recherche et de développement

- Action Thématique Programmée N°L1123 : Exploration du potentiel fixateur d'azote chez les acacias australiens - Brunck F. (1986-1988).
- Projet du Fond d'Aide à la Coopération pour l'appui aux chercheurs nationaux, marché 8702435 : Sélection de souches de rhizobium et de mycorhizes pour l'amélioration de la qualité des plants forestiers produits en pépinière au Sénégal - Diagne O. et Ducouso M. (1987-1990).
- Co-contrat TS2* 0227 SN (EDB) du projet CEE TS2-0169-F : Application des symbioses plantes-fixateur d'azote-mycorhizes et étude de la diversité génétique des acacias sahéliens en vue de la mise en place de systèmes agro-sylvo-pastoraux - Ducouso M. pour le co-contrat et Leblanc J.M. pour le projet (1991-1994).
- Projet du Centre de Recherche pour le Développement International du Canada : Domestication des fruitiers forestiers sahéliens - Danthu P. (1990-1994).
- Projet du Fond d'Aide à la Coopération pour l'appui aux chercheurs nationaux, marché 9104311 : Utilisation des symbioses racinaires fixatrices d'azote et mycorhizienne pour l'amélioration des plantations forestières au Sénégal - Diagne O. et Ducouso M. (1991-1994).
- Projet du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche N°91L0685 : Rôle de deux acacias (*Acacia mangium* et *A. albida*) dans le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols en Basse Casamance - Dreyfus B. (1991-1994).
- Projet CEE TS3*CT92-0047 : Réhabilitation des terres dégradées au nord et au sud du Sahara. Utilisation de légumineuses pérennes et des micro-organismes associés pour l'établissement de formations pluristrates – Grouzis M. (1993-1995).
- Contrat UNEP N° FP/6106-90-87-2220 : Fixation biologique de l'azote chez trois légumineuses cultivées au Sénégal : le voandzou (*Voandzeia subterranea*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*) et le kad (*Faidherbia albida*) – Guèye M. (1994-1995).
- Projet CEE TS3*-CT93-0220 : Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali) - Floret C. (1994-1996)
- Convention avec la Direction de l'Agriculture et de la Forêt de la région Languedoc-Roussillon : Recherche de souches mycorrhizogènes et aptitude à la mycorhization des feuillus méditerranéens et du Pin noir de Salzmann - Ducouso M. et Royer J. (1996-2000).
- Projet de Recherche en Coopération France-Maroc : Mycorhization du cèdre de l'Atlas et de l'*Eucalyptus* au Maroc - Mousain D. et Abourouh M. (1994-1996).
- Subvention de l'Ambassade de France à Singapour : Production en aéroponie de plants sélectionnés d'*Acacia mangium* en association symbiotique avec *Rhizobium* et mycorhizes – Prin Y. et Ducouso M. (2000-2004).
- Projet bilatéral franco-marocain PRAD 00/19 : Symbioses *Casuarina*-microorganismes: utilisation de la biodiversité des *Frankia* et des champignons mycorhiziens pour l'amélioration de la croissance des arbres - Prin Y. et Arahou M. (2000-2002).
- Projet de l'Australian Academy of Science REDDEL-124 : Exploring the diversity, role and growth of myco-nodulating fungi in native Australian and New Caledonian tree species – Dreyfus B. (2001).

- Projet de la commission européenne Asia URBS KHM2/03 : Improving the living conditions of poor farmers on the outskirts of Kompong Speu, by diversifying agricultural production and through the development of a network to supply the town centre and Phnom Penh market with quality agricultural products - Deuse J. et Mergeai G. (2002-2003).
- Projet de la commission européenne Asia URBS LAO2/04 : Improving the living conditions of poor farmers in the outskirts of Vientiane through the development of a network to supply the town centre with quality agricultural products - Deuse J. et Mergeai G. (2002-2003).
- Projet de l'Australian Academy of Science : Relating floristic and symbiotic biodiversity to geological history in Australia (North Queensland) and New Caledonia – Dreyfus B. (2002).
- Projet sur appel d'offre « Fonds Pacifiques » : Bio et géodiversité des sols latéritiques miniers en environnement tropical : application à la restauration écologique – Dreyfus B. (2002).
- Projet bilatéral franco-marocain PRAD 03/14 : Effets des mycorhizes à arbuscules autochtones sur la régénération des forêts de tétraclinaies marocaines - Duponnois R. et Abbas Y. (2003-2005).
- Projet bilatéral franco-marocain PRAD 04/13 : Diversité, écologie et utilisation des *Pisolithus* spp. pour la gestion durable des subéraies marocaines - Mousain D. et Abourouh M. (2004-2006).
- Programme d'Actions Intégrées « Comité Mixte Interuniversitaire Franco-Marocain" du Ministère des Affaires Etrangères » : Valorisation de la diversité microbienne pour améliorer la fertilité des sols forestiers – Duponnois R. et Hafidi M. (2005-2008).
- Projet bilatéral franco-marocain PRAD 06/25 : Diversité microbienne associée à la strate arbustive des tétraclinaies : un outil pour optimiser la conservation des écosystèmes forestiers du *Tetraclinis articulata* Vahl. Master. - Duponnois R. et Abbas Y. (2005-2007).
- Convention CNPq/IRD Assessoria de Cooperação Internacional : - De Faria S.M.(2006-2008).
- Projet ECOFOR Biodiversité : Impact des variations géographiques et temporelles sur le fonctionnement des communautés symbiotiques associées à *Acacia mangium* : diversité en zone d'origine, évolution et adaptation en zone d'introduction – Béna G. (2006-2008).
- Programme National coordonné ANR-ECCO : « ECOSPHERE CONTINENTALE Risques environnementaux » : Biogéochimie des éléments métalliques (Fe, Ni, Cr, Mn, Co) dans le continuum sols – eaux - plantes des écosystèmes latéritiques de Nouvelle-Calédonie : activités anthropiques vs cycle naturel - Ambrosi J.P. (2005-2007).
- Programme National coordonné ANR-ECCO : « ECOSPHERE CONTINENTALE Risques environnementaux » : Déterminants naturels et anthropiques de la biodiversité rhizosphérique et de la biodisponibilité minérale en forêt atlantique. Relation avec la production forestière et les cycles du carbone et de l'eau – Plassard C. (2005-2007).

3.2. Missions

- Depuis mars 2006 : Nombreux déplacements sur le terrain en Nouvelle-Calédonie.
- 18-26 avril 2007 : Prospection des ectomycorhizes et des champignons ectomycorhiziens associés à *Acacia mangium* dans son aire d'origine. Projet ECOFOR Biodiversité : Impact des variations géographiques et temporelles sur le fonctionnement

des communautés symbiotiques associées à *Acacia mangium* : diversité en zone d'origine, évolution et adaptation en zone d'introduction. North Queensland, Australie.

- 16-18 mars 2006 : Dans le cadre du projet ANR Ecco « NiKo », préparation d'une réponse commune entre les équipes australiennes et néo-calédoniennes à l'appel d'offre ARC-linkage (Australian Research Council) sur le thème : Rehabilitating contaminated landscapes by exploiting biodiversity and nanotechnology. Brisbane, Australie.
- 13-20 novembre 2005 : Mission expertise dans le cadre du projet PRAD 04/13 " Diversité, écologie et utilisations de *Pisolithus* spp. pour la gestion durable des subéraies marocaines", Maroc.
- 14-21 novembre 2004 : Mission expertise dans le cadre du projet PRAD 04/13 " Diversité, écologie et utilisations de *Pisolithus* spp. pour la gestion durable des subéraies marocaines", Maroc.
- 30 mars au 9 avril 2003 : Mission d'appui au projet Asia URBS KHM-2-03 de la commission européenne. Production de champignons, récolte et commercialisation avec une attention particulière sur les champignons ectomycorhiziens comestibles du parc national de Kirirom, Cambodge.
- 23-30 mars 2003 : Mission d'appui au projet Asia URBS LAO-2-04 de la commission européenne. Production de champignons, récolte et commercialisation avec une attention particulière sur les champignons ectomycorhiziens comestibles de la forêt de Dongmakai, Laos.
- 16-22 décembre 2002 : Mission expertise dans le cadre du projet PRAD 00/19 "Symbioses *Casuarina*-microorganismes : utilisation de la biodiversité de *Frankia* et des champignons mycorhiziens pour l'amélioration de la croissance des arbres", Maroc.
- 19-27 juin 2002 : Prospection des myconodules chez les espèces forestières endémiques de Nouvelle-Calédonie poussant sur des sols riches en nickel et établissement de l'importance des mycorhizes dans ces sols. Collaboration avec la société Falconbridge SA dans le cadre d'un projet de réhabilitation des terres après exploitation minière, Nouvelle-Calédonie.
- 27 juin au 5 juillet 2002 : Prospection des myconodules chez les espèces forestières endémiques du Nord Queensland et recherche de bailleurs de fonds pour soutenir la collaboration engagée dans le cadre du projet REDDEL-124 (AAS et Ministère français des affaires étrangères), Australie.
- 2 au 7 et 13 au 18 février 2002 : Mission d'appui au projet Asia URBS LAO-2-04 de la commission européenne. Établissement et diversification de l'approvisionnement de la ville de Vientiane en champignons comestibles, Laos.
- 7 au 13 février 2002 : Mission d'appui au projet Asia URBS KHM-2-03 de la commission européenne. Établissement et diversification de l'approvisionnement de la ville de Phnom Penh en champignons comestibles, Cambodge.
- 1 au 7 décembre 2001 : Mission expertise dans le cadre du projet PRAD 00/19 "Symbioses *Casuarina*-microorganismes : utilisation de la biodiversité de *Frankia* et des champignons mycorhiziens pour l'amélioration de la croissance des arbres", Maroc.
- 29 juin et 18 au 23 juin 2001 : Mission d'appui scientifique à Jean WEBER, étudiant en thèse basé à NTU/ NIE, Singapour ; préparation et participation à la deuxième réunion de son comité de thèse avec Jean Michel Favre, Université de Nancy I, Sing Kong Lee, Professeur et Doyen de l'Université Nanyang de technologie et Foong Yee Tham Assistante à l'Université Nanyang de technologie, Singapour.
- 14 au 17 juillet 2001 : Prospection des mycorhizes arbusculaires de *Gymnostoma australianum* (parc national Daintree) et contacts scientifiques avec Paul Reddell (CSIRO), Nord Queensland, Australie.

- 4 au 10 décembre 2000 : Mission expertise dans le cadre du projet PRAD 00/19 "Symbioses *Casuarina*-microorganismes : utilisation de la biodiversité de *Frankia* et des champignons mycorhiziens pour l'amélioration de la croissance des arbres", Maroc.
- 14 au 22 novembre 2000 : Mission d'appui scientifique à Jean WEBER, étudiant en thèse basé à l'Université Nanyang de technologie, Singapour ; préparation d'essai au champ à mettre en place en Malaisie et prospection de mycorhizes en Malaisie (Kuala Lumpur and Kuching), Singapour et Malaisie.
- 29 mars au 7 avril 2000 : Prospection de souches ectomycorhiziennes et d'ectomycorhizes dans les plantations industrielles d'Eucalyptus de la région de Pointe Noire, Congo.
- 18 au 27 octobre 1999 : Mise en place d'une collaboration entre le CIRAD-Forêt et l'Université Nanyang de technologie, Singapour.
- 20 janvier au 2 février 1999 : Prospection de souches ectomycorhiziennes et d'ectomycorhizes dans les forêts naturelles du sud est malgache, Madagascar
- 15 au 26 octobre 1998 : Mission d'appui scientifique dans le cadre du projet « Jachère », Côte d'Ivoire.
- 24 au 29 juin 1998 : Prospection des mycorhizes dans les plantations de pâte à papier au Sabah, Malaisie.
- 18 au 23 juin 1998 : Mission d'appui scientifique sur les symbioses racinaires des arbres, Singapour.
- 3 au 10 novembre 1996 : Prospection des mycorhizes et des champignons ectomycorhiziens du cèdre et de l'Eucalyptus, Maroc.
- 11 au 13 mars 1996 : Mission d'appui scientifique dans le cadre du projet MYCOMED (AIR2-CT94-1149), Turin, Italie.
- 11 au 21 octobre 1995 : Mission d'appui scientifique au projet « Jachère », Côte d'Ivoire
- 4 au 14 décembre 1995 : Mission d'étude au Vietnam pour le développement d'un projet commun franco-vietnamien dans le domaine de l'agronomie, Vietnam.
- De 1986 à 1994 : Nombreuses mission d'étude scientifique au Sénégal.
- 17 juillet au 2 août 1988 : Prospection des champignons ectomycorhiziens et des ectomycorhizes au Fouta Djallon, Guinée

4. ACTIVITES DE RECHERCHE (1986-2005)

La plupart des espèces végétales vivent en symbiose avec des champignons mycorhiziens et, pour certaines d'entre-elles, avec des bactéries fixatrices d'azote. La maîtrise de ces associations plantes/microorganismes permet d'améliorer durablement la production des écosystèmes et de lutter contre la dégradation de l'environnement en maintenant et régénérant la fertilité des sols.

Fort de ce constat, mes actions se sont inscrites dans trois directions : scientifique, développement et valorisation, et formation. Sur le plan scientifique, mes objectifs ont été d'abord de caractériser, d'analyser et d'exploiter en zones tropicales, la diversité des associations symbiotiques mycorhiziennes en général et fixatrices d'azote dans le cas des légumineuses notamment les *Acacia*, en particulier en liaison avec l'adaptation des plantes aux sols dégradés, toxiques et riches en métaux. Sur le plan du développement et de la valorisation, l'objectif est de proposer des méthodologies susceptibles d'intéresser directement le développement durable et les entreprises du domaine des biotechnologies dans les pays du Sud. Ainsi, des recherches pour le développement sur des applications agronomiques visant notamment la restauration des forêts tropicales, des sols dégradés et aussi la production de biomasse ligneuse au sein d'exploitations forestières industrielles ou de systèmes agroforestiers ont été privilégiées. Pour cela, une collection de souches de champignons ectomycorhiziens et mycorhiziens à arbuscules a été développée de même que des outils de caractérisation, notamment moléculaire, de suivi de ces souches. Sur le plan de la formation, mon implication dans la formation à la recherche par la recherche a été favorisée en m'impliquant, par l'encadrement de stagiaires, dans l'école doctorale " Biologie de l'Évolution et Écologie " de Montpellier mais aussi avec les pays du Sud, en premier lieu le Sénégal avec le département de Biologie végétale de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Les découvertes permettant de publier dans les revues internationales à facteur d'impact ISI ne doivent pas pour autant faire perdre de vue que le Cirad se doit de respecter un équilibre entre recherche fondamentale et recherche appliquée. Cette caractéristique forte de l'établissement qui m'emploie a toujours été prise en compte dans les choix des sujets traités.

4.1. Caractérisation, rôle et importance des symbioses racinaires chez les *Acacia*.

4.1.1. Potentiel fixateur d'azote des *Acacia*.

Certaines espèces de végétaux supérieurs ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique en le réduisant d'abord en ammonium avant de l'intégrer dans les chaînes de biosynthèse des acides aminés, tout cela grâce à des bactéries symbiotiques qu'elles hébergent au sein

d'organes spécialisés, les nodules, situés le plus souvent au niveau de leurs racines. Cette particularité métabolique concerne principalement deux groupes de végétaux supérieurs ; les plantes actinorhiziennes (e.g. : *Alnus* et *Casuarina*) qui fixent l'azote en symbiose avec l'actinomycète *Frankia* et les légumineuses qui fixent l'azote en symbiose avec des *Rhizobium s.l.* C'est à cette dernière grande famille de plus 18 000 espèces qu'appartient le genre *Acacia* qui regroupe environ 1 200 espèces d'arbres et d'arbustes pantropicaux. Ce genre est divisé en trois sous-genres paraphylétiques : *Acacia*, *Aculeiferum* et *Phyllodineae* (Lückow *et al.*, 2003). Mes travaux ont permis de préciser l'importance de la nodulation dans ce genre en apportant des indications sur la répartition taxonomique de cette capacité symbiotique et sur la nature des bactéries impliquées dans cette symbiose.

Nous avons ainsi mis en évidence la quasi-constance de la nodulation des espèces du genre *Acacia* (Figure 4.1) à l'exception notoire de deux espèces largement répandues en Afrique de l'Ouest et notamment au Sénégal, *A. ataxacantha* DC et *A. macrostachya* Rchb. ex G.Don taxonomiquement proche d'*A. brevispica* Harms dont l'absence de nodulation avait déjà été signalée au Kenya (Odee et Sprent, 1992). Ces travaux ont également permis de confirmer et de préciser les travaux de Dreyfus et Dommergues (1981) qui mentionnent des souches de rhizobium à croissance rapide et des rhizobiums à croissance lente au sein de groupes taxonomiquement cohérents d'*Acacia*, notant par exemple, l'importance des *Bradyrhizobium* pour les espèces du sous-genre *Phyllodineae*. Différents niveaux de spécificité en fonction des espèces ont pu être mis en évidence se traduisant notamment par des possibilités de nodulation croisée entre espèces proches comme *A. senegal* Willd. et *A. laeta* R.Br. & Benth.



Figure 4.1. : Nodules d'*Acacia mangium* Willd. dans la litière d'une plantation de quatre ans, forêt des Bayottes, Sénégal.

4.1.2. Les types symbiotiques chez les *Acacia*.

Les mycorhizes sont incontestablement la principale symbiose des végétaux terrestres. Suivant différents critères, notamment la position relative des deux partenaires au sein de la

symbiose, les mycorhizes ont été classées en différents groupes. Les deux principaux types de mycorhizes en zones tropicales sont les mycorhizes à arbuscules (80 % des taxons) et les ectomycorhizes (limitées à quelques taxons). Jusqu'en 1986, date de début de mes travaux, nos connaissances de ces symbioses chez les *Acacia* étaient limitées à deux publications (Warcup, 1980 ; Reddell et Warren, 1986) qui décrivaient, sur un total de 48 espèces, la présence de mycorhizes à arbuscules, d'ectomycorhizes ou des deux suivant les espèces.

Au cours de mes travaux, j'ai pu mettre en évidence sur plus d'une centaine d'espèce, la présence constante de mycorhizes à arbuscules (Figure 4.2) et surtout préciser que les taxons d'*Acacia* concernés par la symbiose ectomycorhizienne (Figure 4.2), sont tous d'origine australienne et à phyllodes sous-genre *Phyllodineae*, mettant en évidence pour la première fois l'importance et les limites de cette symbiose pour ce genre.

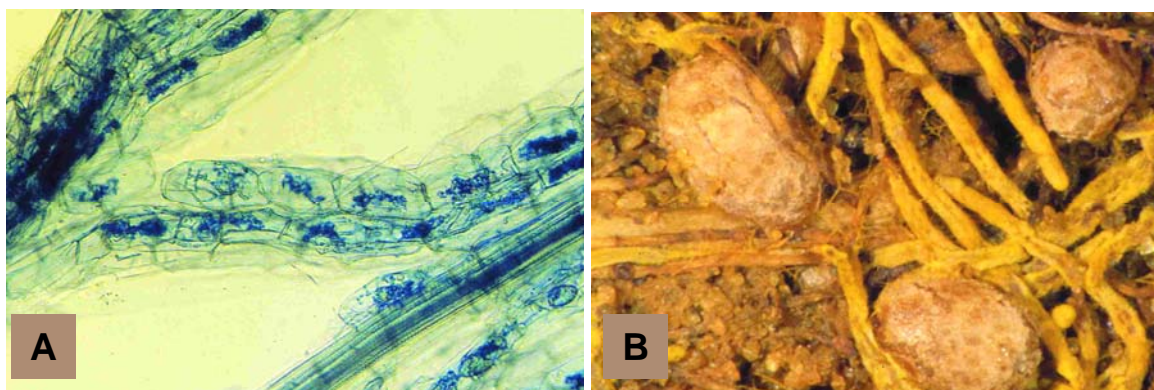


Figure 4.2 : A : Cellules du parenchyme cortical de racine d'*Acacia chisholmi* F.M. Bailey infectées par *Glomus mosseae* (T.H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe ; B : Ectomycorhizes jaune vif d'*A. holosericea* A.Cunn. ex G.Don obtenues expérimentalement en serre après inoculation par la souche de *Pisolithus albus* (Cooke & Massee) Priest ORS.7870 ; trois nodules fixateurs d'azote à *Bradyrhizobium* sp. sont également visible.

Le cas des *Phyllodineae* (Mimosoideae) est particulièrement intéressant car, à l'exception des genres *Pericopsis*, *Mirbelia* et *Pultenaea* (Papilionoideae), c'est le seul cas d'une symbiose multipartite aussi complexe, fixatrice d'azote à *Rhizobium* s.l., ectomycorhiziennes et mycorhiziennes arbusculaires. Parmi ce sous-genre des espèces comme *A. aulacocarpa* A.Cunn. ex Benth., *A. auriculiformis* Benth., *A. crassicaarpa* A.Cunn. ex Benth. et *A. mangium* sont très largement utilisées en foresterie industrielle, en dehors de leur aire d'origine (Cossalter et Pye-Smith, 2003) ; les performances exceptionnelles en plantation de ces arbres sont souvent attribuées à leurs capacités à former des associations symbiotiques multiples. Si depuis ces dix dernières années, des travaux ont été consacrés à la caractérisation des *Bradyrhizobium* de ces espèces (e.g. : Umali-Garcia et al., 1988 ; Galiana et al., 1990, 1994, 1998) et, dans une moindre mesure, aux mycorhizes arbusculaires (e.g. : De la Cruz et Yantasath, 1993 ; Bâ et al., 1996) d'*A. mangium*, très peu

de travaux ont concerné leurs ectomycorhizes. Nous avons donc choisi d'étudier en détail l'état ectomycorhizien d'*A. mangium* dans cinq situations différentes en dehors de son aire d'origine et en conditions expérimentales. Ainsi, dans un premier temps, une liste de champignons potentiellement ectomycorhiziens fructifiant spontanément sous *A. mangium* a été établie. Ensuite, des souches fongiques ont été testées dans une gamme étendue de conditions afin de vérifier leur capacité à former des ectomycorhizes avec *A. mangium*. Les ectomycorhizes récoltées aux champs et obtenues expérimentalement ont été caractérisées morphologiquement, anatomiquement et moléculairement pour certaines d'entre-elles. Des précisions importantes sur l'identité des partenaires ectomycorhiziens et l'anatomie des ectomycorhizes d'*A. mangium* ont été apportées par ces travaux. Ainsi, la quasi-absence d'élongation radiale des cellules du rhizoderme des ectomycorhizes formées par *Thelephora ramarioides* D.A. Reid, induisant une très faible profondeur du réseau de Hartig (Figure 4.3) a été mise en évidence, à la différence des ectomycorhizes formées par *Pisolithus* sp. dont le réseau de Hartig dépasse souvent 20 µm de profondeur (Figure 4.3).

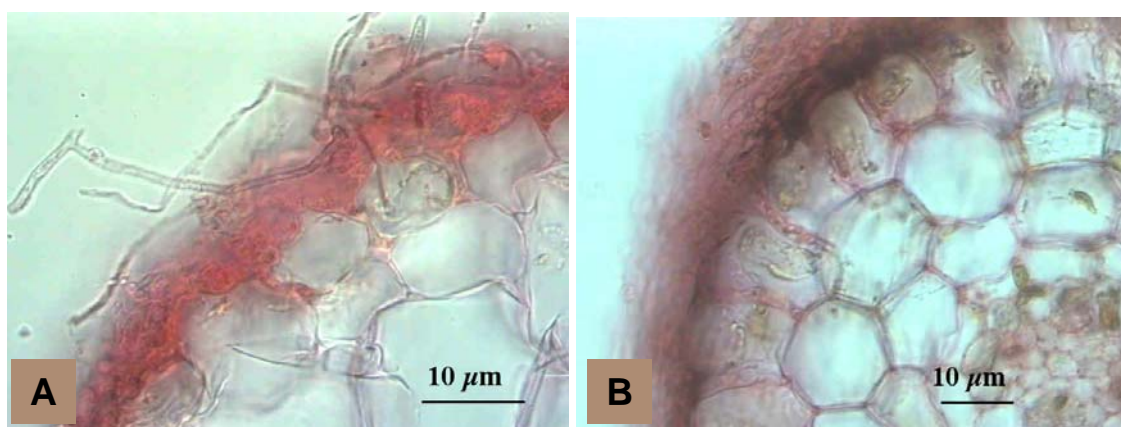


Figure 4.3 : A : Ectomycorhize d'*A. mangium* obtenue à la serre du LSTM avec *Thelephora ramarioides*, vue en coupe transversale après coloration au rouge Congo ammoniacal et montage entre lame et lamelle dans de l'eau glycinée à 20 % ; B : Ectomycorhize d'*A. mangium* obtenue en chambre de culture avec *Pisolithus* sp. Ibidem.

Afin de préciser les impacts des variations géographiques et temporelles sur le fonctionnement des communautés symbiotiques associés à *A. mangium*, un projet d'étude de la diversité de ces symbioses en zone d'origine et de leur évolution et adaptation en zone d'introduction a débuté en 2007.

4.1.3. Rôles des symbioses racinaires pour la croissance des *Acacia*.

La symbiose à *Rhizobium* s.l. procure à la plante un apport d'azote à partir de l'azote atmosphérique tandis que la symbiose mycorhizienne améliore la nutrition minérale de la plante grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté par les hyphes extramatriciels et la production de divers composés susceptibles, par exemple, de mobiliser le phosphore à

partir de molécules complexes. Les symbiotes fongiques peuvent aussi réduire les effets de différents stress que peut subir la plante comme l'attaque de champignons pathogènes ou de nématodes phytoparasites (Chakravarty et Unestam, 1987 ; Duponnois *et al.*, 2002). Mes travaux ont contribué à démontrer puis à confirmer expérimentalement la complémentarité de ces symbioses chez les *Acacia* que ce soit en termes d'augmentation de la croissance par rapport à des témoins non inoculés ou en termes de nutrition minérales et de résistance aux stress notamment la sécheresse et les pathogène telluriques.

Afin de préciser les rôles fonctionnels de ces micro-organismes bactériens et fongiques sur les *Acacia*, des essais d'inoculation contrôlée ont été mis en place sur le terrain au Sénégal et à Madagascar. Afin d'interpréter les résultats de ces essais, il a été nécessaire de développer des outils spécifiques, notamment moléculaires afin de suivre la survie et l'éventuel développement des souches introduites par inoculation dans ces essais. Ainsi, au Sénégal, à Mbiddi, dans des plantations d'*A. raddiana* Savi et d'*A. senegal* inoculé par *Glomus mosseae* (Figure 4.4), après deux ans, la souche introduite n'a pas été retrouvée. Dans un autre essai situé à Thiénaba, après deux ans au champ, les nodules n'étaient visibles que dans la zone du collet d'*A. senegal* et d'*A. nilotica* (L.) Delile (Figure 4.5) ; donc proche de la zone d'apport de l'inoculum en pépinière. Au cours de la troisième année de suivi, des nodules ont été observés sur des racines distantes de plus d'un mètre du collet des arbres, laissant à penser que la souche sélectionnée, apportée en pépinière, avait été supplantée par une ou des souches locales. Dans un essai d'inoculation d'*A. crassicaarpa* et *A. mangium* mis en place à Mahela, Madagascar (Figure 4.6) nous avons pu apporter la preuve de l'envahissement de la plantation par une des souches introduites. Ainsi, dans la plantation d'*A. mangium*, nous avons constaté la présence de la souche Aust13C de *Bradyrhizobium*, dans tous les nodules de tous les traitements, les autres souches bactériennes ayant disparu. De même, dans la plantation d'*A. crassicaarpa*, nous avons constaté la disparition de la souche de *Pisolithus albus* au profit d'une souche de *P. microcarpus* (Cooke & Massee) G. Cunn. Ces essais ont permis de mettre en évidence l'absolue nécessité d'un dispositif de suivi moléculaire des souches introduites pour interpréter les essais de terrain.

Les mises au point méthodologiques nécessaires à un suivi efficace des souches introduites ont pu être appliquées par la suite dans les études de structuration *in situ* des populations de Glomales, l'identification moléculaire des partenaires d'une ectomycorhizes et la caractérisation des Basidiomycètes qui dégradent le bois en pourriture cubique ou fibreuse.

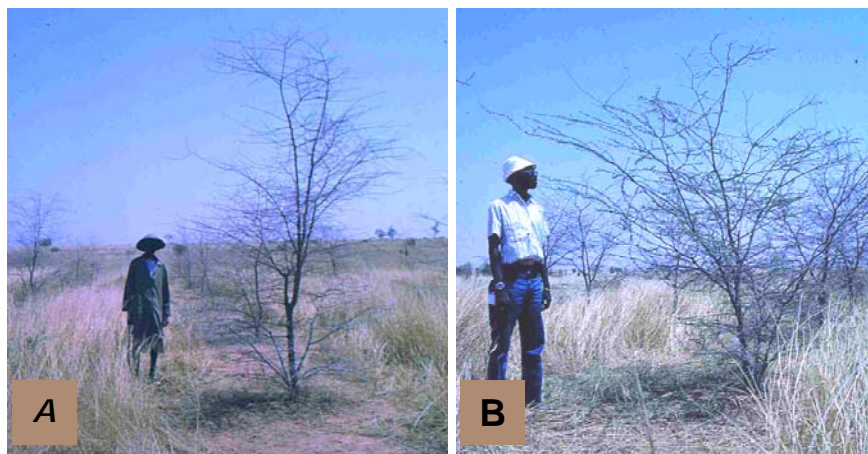


Figure 4.4 : Essais d'inoculation contrôlée mis en place à Mbiddi, Sénégal avec *Acacia raddiana* (A) et *A. senegal* (B) inoculés par *Rhizobium* sp. et *Glomus mosseae*.



Figure 4.5 : Essais d'inoculation contrôlée mis en place à Thiénaba, Sénégal avec *Acacia nilotica* et *A. senegal* inoculés par *Rhizobium* sp.



Figure 4.6 : Vue de la partie de l'essai de Mahela (Madagascar) planté avec *A. crassiorpa* inoculé par *Bradyrhizobium* spp. et par *Pisolithus* spp.

4.1.4. Amélioration des techniques d'inoculation des *Acacia*.

L'inoculation de jeunes plants d'*Acacia* par des microorganismes sélectionnés est une méthode pratique pour leur introduction au niveau des racines. Suivant les microorganismes, la formulation de l'inoculum et les méthodes d'inoculation varient. Pour les rhizobium *s.l.*, la production en masse de culture pure est bien maîtrisée ; ces cultures sont utilisées après dilution, à l'arrosoir pour inoculer des pépinières entières ; un litre de culture permet

l'inoculation de 100 000 plants. Les cultures peuvent également être adsorbé sur de la tourbe ou incluses dans un polymère d'alginate de calcium afin d'augmenter la durée d'utilisation de l'inoculum et faciliter son transport sur de longues distances. Pour les mycorhizes à arbuscules, la production en masse de culture pure est impossible. Les cultures doivent être réalisé sur plante hôte ce qui limite considérablement les possibilités de production de grande quantité d'inoculum. À cela, il convient d'ajouter des quantités d'inoculum solide (au mieux des suspensions) de 1 et 5 g racine infectée nécessaire à l'obtention d'une bonne mycorhization. Pour inoculer 100 000 plants, il faut produire entre 100 et 500 kg de racine infectée et les apporter plant par plant aux 100 000 plants ; dans ces conditions, l'inoculation en masse de plants d'*Acacia* en pépinière demeure un défi. Le cas des ectomycorhizes bien que cultivable *in vitro* est en fait voisin de celui des mycorhizes à arbuscules. L'inoculation de 100 000 plants nécessitera la production de 1 à 5 tonnes d'inoculum solide qui devront, à raison de 10 à 50 g, être apporté plant par plant aux 100 000 plants. Afin de vulgariser les pratiques de l'inoculation contrôlée, des progrès importants doivent être apporté aux inoculum et aux techniques d'inoculation.

La réussite d'une inoculation est basée sur l'apport d'un microorganisme compatible en quantité suffisante et en état physiologique (viabilité) de former une symbiose avec une plante hôte dont les racines doivent être également en état physiologique de former cette symbiose ; ce dernier paramètre revêt une importance particulière pour les ectomycorhizes où, l'apparition de racines réceptives à l'ectomycorhization peut être tardive comme c'est le cas pour *Cedrus atlantica* Manetti. Dans ces conditions, la viabilité et la survie du microorganisme dans l'inoculum est un paramètre important à maîtriser. Nous avons ainsi mis au point une technique respirométrique basée sur la réduction d'un sel de tétrazolium incolore en formazan de couleur rouge afin d'estimer la viabilité des microorganismes dans les inoculum. Ces travaux ont conduit notamment à proscrire l'inclusion dans l'alginate de calcium dans la formulation des inoculum de *Pisolithus* sp. (Figure 4.7).

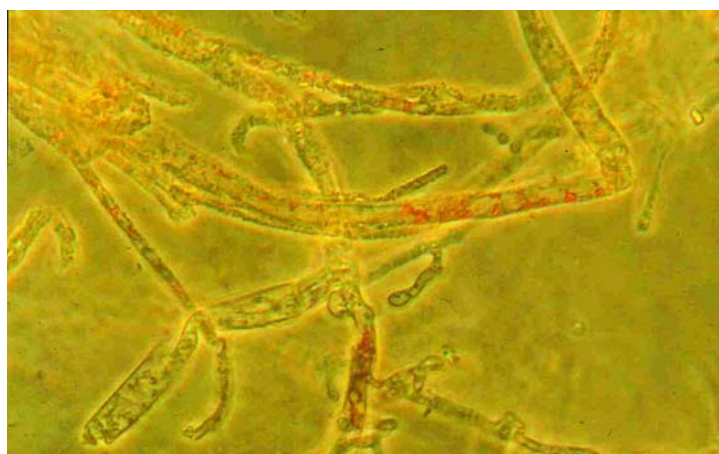


Figure 4.7 : Réduction *in vivo* de sels de tétrazolium en formazan par le mycélium de *Pisolithus albus*.

Pour réaliser des inoculations avec des champignons mycorhiziens sur de grande quantité de plants, nous avons développé la culture en aéroponie afin d'avoir un accès facilité aux racines des plants. Ce dispositif de culture où les racines des plants sont brumisées régulièrement avec une solution nutritive permet une nodulation et une croissance accrues d'*A. mangium* (Martin-Laurent *et al.*, 1997). En partenariat avec l'université Nanyang de technologie de Singapour, nous avons mis au point un système de co-inoculation d'*A. mangium* par *Glomus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm. et *Bradyrhizobium* sp. cultivé en aéroponie. Par des opérations simples de trempage des racines, le système mis au point permet l'inoculation rapide de grande quantité de plants et l'autoproduction de l'inoculum nécessaire aux inoculations suivantes (Figure 4.8). L'application de ce procédé à des champignons ectomycorhiziens est en phase de mise au point.



Figure 4.8 : Dispositif de culture en aéroponie d'*A. mangium*. Les racines sont facilement accessibles afin de procéder à des inoculations par trempage avec *Bradyrhizobium* sp. et/ou *Glomus* sp.

4.2. Les symbioses mycorhiziennes dans les systèmes forestiers et agroforestiers des zones arides et semi-arides.

4.2.1. Caractérisation des champignons mycorhiziens arbusculaires et structuration de leurs populations dans les systèmes agroforestiers sénégalais et marocains.

4.2.1.1. Caractérisation morphologique et anatomique des Glomales.

La description d'un taxon est fondée sur une analyse hiérarchisée de ses caractères. Plus le nombre de caractères analysés augmente, plus la description peut être précise. Dans le cas des champignons mycorhiziens arbusculaires, ces organismes primitifs disposant de très peu de caractères descriptifs, les analyses taxonomiques se concentrent sur des aspects morphologiques et anatomiques de la paroi des spores au cours de son ontogenèse ; les

mycéliums et autres structures d'infection fournissant peu ou pas d'information exploitable en taxonomie.

La caractérisation et *in fine*, l'identification des espèces sont des étapes nécessaires aux études de diversité et de structuration des populations de champignons mycorhiziens arbusculaires. Ainsi, sur la base de caractères morphologiques : couleur, forme, diamètre et autres particularités remarquables comme la présence d'une hyphe suspenseur ou d'un saccule sporifère par exemple et de caractères anatomiques : structure de la paroi (à différent stade de développement des spores), bouclier de germination et autres structures sub-cellulaires, des spores ont été caractérisées et identifiées dans plusieurs écosystèmes tropicaux et méditerranéens. Par exemple, dans une première étude menée au Sénégal, onze espèces ont été caractérisées, six *Glomus* dont *G. aggregatum* N.C. Schenck & G.S. Sm., *G. claroideum* N.C. Schenck & G.S. Sm., *G. intraradices*, *G. rubiforme* (Gerd. & Trappe) R.T. Almeida & N.C. Schenck, *Acaulospora mellea* Spain & N.C. Schenck, deux *Gigaspora* dont *G. albida* N.C. Schenck & G.S. Sm., *Scutellospora gregaria* (N.C. Schenck & T.H. Nicolson) C. Walker & F.E. Sanders et *S. verrucosa* (Koske & C. Walker) C. Walker & F.E. Sanders (Figure 4.9).

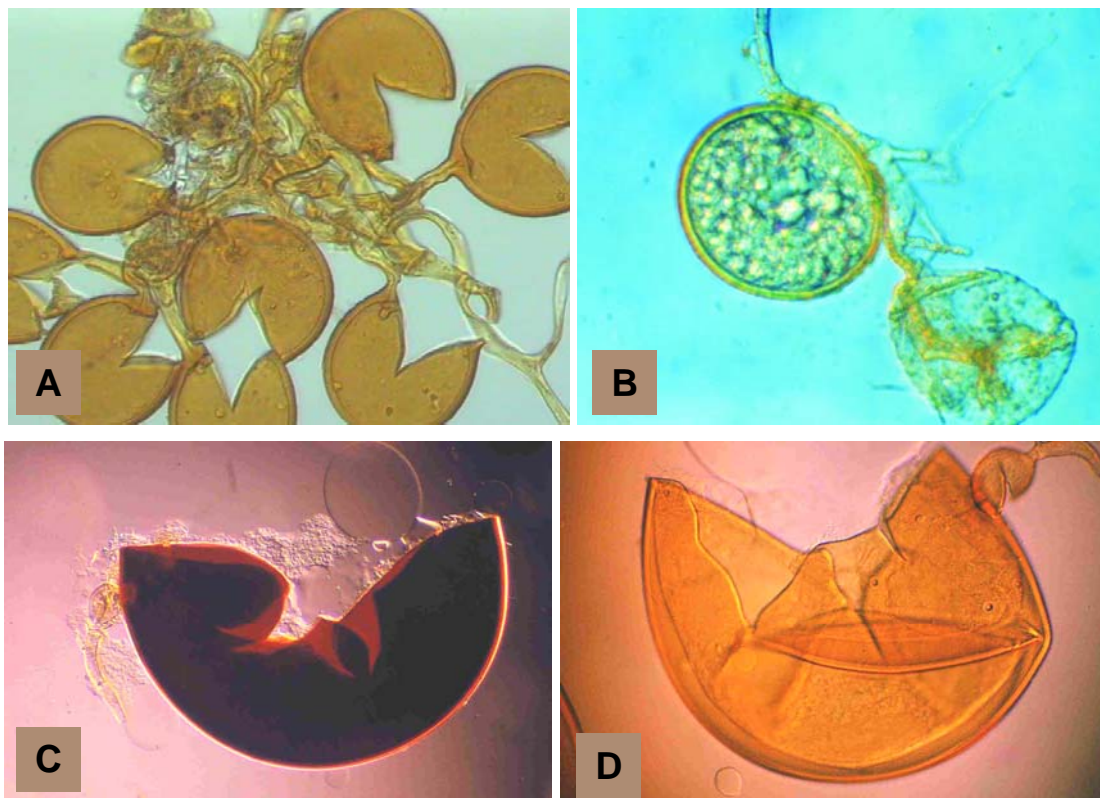


Figure 4.9 : Spores de Glomales vue au microscope après un léger écrasement entre lame et lamelle et montage dans du PVLG (Koske et Tessier, 1983) additionné ou non de réactif de Melzer. A : *Glomus aggregatum* ; B : *Acaulospora mellea* ; C : *Gigaspora albida* ; D : *Scutellospora verrucosa*.

La caractérisation (et, dans la mesure du possible, l'identification) des Glomales sur des bases morphologique et anatomique est maintenant un outil mis en place en routine au laboratoire.

4.2.1.2. Caractérisation moléculaire des Glomales.

Compte tenu du faible nombre de caractères utilisables pour la description des Glomales et de leur relative difficulté d'observation et d'interprétation, l'identification morpho-anatomique est souvent impossible et, en tout état de cause, une tâche ardue. Aussi, les outils moléculaires permettant une caractérisation de l'ADN directement à partir des spores ou des mycorhizes ont été mis au point. Compte tenu des difficultés d'accès aux mycéliums du sol avec les outils actuels, cette phase du champignon n'a pas pu être prise en considération, malgré son importance supposée. L'ADN fongique est extrait soit sur un fragment de racine infecté d'une longueur d'environ 5 cm, soit sur un lot homogène de spores (10 à 50). Sur cet ADN, une portion de la sous unité 18S ribosomique nucléaire est amplifiée avec les amorces NS31 et AM1 (Simon *et al.*, 1993) puis séquencée. Les séquences obtenues sont ensuite comparées entres-elles et avec les séquences des banques de données afin de connaître la position taxonomique des champignons formant des symbioses mycorhiziennes arbusculaires et formant des spores dans les sols. L'ensemble de ces deux outils que sont les caractérisations morpho-anatomique et moléculaire a permis de développer, directement aux champs, des études sur les populations de Glomales.

4.2.1.3. Diversité et structuration des populations de Glomales dans les sols.

Dans les sols, les Glomales sont présentes sous forme de mycéliums végétatifs, de mycorhizes arbusculaires et de spores. Leur distribution et leur abondance sont essentiellement sous l'influence de facteurs édaphiques et floristiques (Johnson *et al.*, 1991). Ainsi il existe une relation étroite entre la biodiversité des Glomales et la qualité des sols (Helgason *et al.*, 1998) mais également entre les diversités floristique, fongique et la productivité de l'écosystème (Van der Heijden *et al.*, 1998). Afin de rendre compte de la structure et du fonctionnement de leurs populations, il serait nécessaire de quantifier les présences des différentes espèces et de leurs principales activités métaboliques et cataboliques sous leur trois principales formes : mycélium, spores et mycorhizes. Dans l'état actuel des techniques, l'accès aux mycéliums des Glomales du sol reste excessivement difficile et l'évaluation d'activité spécifique impossible ; il est par contre possible d'évaluer et de quantifier les spores du sol (Figure 4.10) et de rendre compte de l'état d'infection par les mycorhizes arbusculaires des espèces qui poussent dans un écosystème. Pour ces deux cas, les données morphologiques et anatomiques doivent, autant que possible, être complété par des données de séquençage.

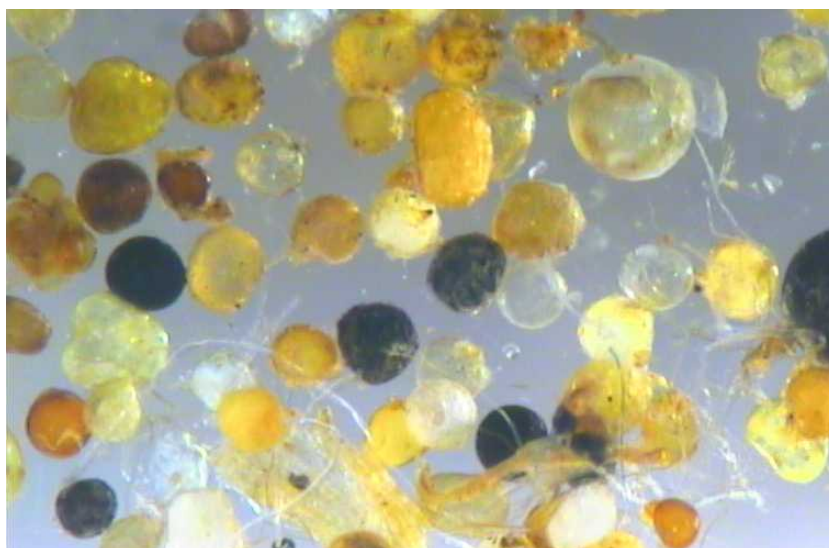


Figure 4.10 : Spores de Glomales extraites par la méthode du tamisage humide, suivie d'une centrifugation en milieu biphase (Zakhia *et al.*, 2003). L'extraction a été réalisée à partir de 100 g de sol d'une parcelle de mil (2002), cultivée à Nioro du Rip (Sénégal).

Dans des études sur les champignons mycorhiziens à arbuscules associées aux adventices des cultures de mil et d'arachide dans le bassin arachidier du Sénégal et sur les mycorhizes à arbuscules d'*A. seyal* Delile. sur sol salé, huit espèces de Glomales ont été trouvées à l'état de spores, parmi celles-ci figuraient : *G. fasciculatum* (Thaxt.) Gerd. & Trappe et *G. versiforme* (Thaxt.) Gerd. & Trappe, *G. aggregatum*, *G. rubiforme*, *Scutellospora gregaria* et *S. verrucosa*, confirmant l'importance des genres *Glomus* et *Scutellospora* aussi bien dans des écosystèmes cultivés que dans des forêts sur sols marginaux. L'examen au microscope des infections a permis de montrer que plus de 87% des espèces sahéliennes étudiées étaient mycotrophes, notamment les Fabaceae, les Rubiaceae, les Poaceae et que la mycorhization à arbuscules améliore la croissance de ces plantes. Les analyses des séquences d'ADN issues des infections racinaires nous ont permis de mettre en évidence une fréquence élevée de mycorhizes à arbuscules formées par des champignons apparentés à des *Glomus* et, dans une moindre mesure à des *Acaulospora* dans les racines des adventices du mil et de l'arachide. Ce résultat indique qu'à l'époque des observations, malgré une sporulation abondante, le genre *Scutellospora* était très peu présent à l'état symbiotique.

En France, *Glomus intraradices* a été trouvé fréquemment associé naturellement à des feuillus méditerranéens comme *Acer monspessulanum* L., *Fraxinus ornus* L. ou *Sorbus aria* Crantz. Au Maroc, trois espèces de *Glomus*, en cours d'identification, ont été caractérisées dans les sols des tétraclinaies. Sur ces deux exemples méditerranéens, le genre *Glomus* est dominant aussi bien à l'état de spores dans les sols qu'en symbiose.

4.2.2. Diversité et utilisation des Glomales pour la régénération des tetracлинаies marocaines.

La déforestation est souvent liée directement aux effets anthropiques d'un développement non maîtrisé des sociétés modernes. Dans le cas de la région méditerranéenne, ce phénomène de dégradation de la forêt se répercute notamment sur les propriétés physicochimiques et biologiques du sol (Warren *et al.*, 1996 ; Carrillo-García *et al.*, 1999). Aussi, les opérations de restauration des écosystèmes de ces régions doivent intégrer cette composante. Dans le cadre du projet PRAD 03/14, nous avons donc mené des études visant à évaluer l'importance de la symbiose mycorhizienne sur le développement du Thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata* Mast.). Ces études ont permis de montrer que cette espèce était strictement associée à des champignons mycorhiziens à arbuscules (Figure 4.11), presque exclusivement des *Glomus* appartenant au groupe phylogénétique comprenant *G. claroideum*, *G. etunicatum* W.N. Becker & Gerd. et *G. lamelosum* Dalpé, Koske & Tews (Figure 4.11). Un effet "mycorhizien" d'augmentation de la croissance de *T. articulata* en pépinière a pu être obtenu par l'introduction de symbiotes fongiques préalablement sélectionnés démontrant que sa croissance était très dépendante de cette symbiose.

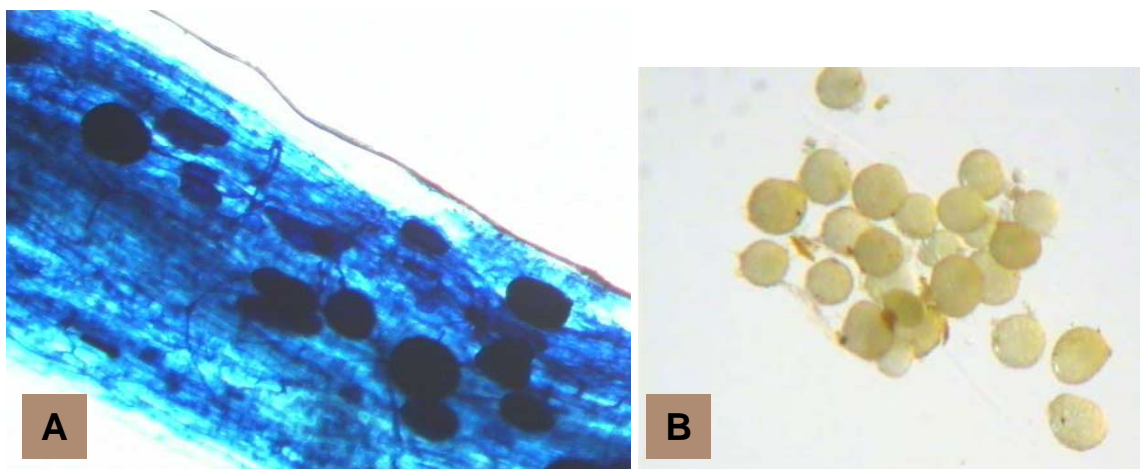


Figure 4.11 : Mycorhization arbusculaire de *T. articulata*. A : Fragment de racines *T. articulata* infecté par un *Glomus* indéterminé, coloré au bleu Trypan dans le lactophénol d'Amman et monté entre lame et lamelle dans du PVLG (Koske et Tessier, 1983) ; B : Spores de *Glomus* sp. isolés de la rhizosphère de *T. articulata* au Maroc.

Compte tenu des pratiques forestières locales, incompatibles avec l'inoculation à grande échelle des plants en pépinière par des souches de champignons mycorhiziens arbusculaires, une technique fondée sur la gestion *in situ* du potentiel infectieux mycorhizogène du sol est en cours de développement en partenariat avec le service de sylviculture de la Direction des recherches sur les expérimentations forestières de Rabat (projet PRAD 06/25).

Des recherches allant dans le même sens sont en cours dans des systèmes agroforestiers du bassin arachidier du Sénégal afin de garantir une augmentation durable de la productivité du mil et de l'arachide grâce à une gestion optimisée des populations naturelles de champignons mycorhiziens arbusculaires. Dans ce cadre, après une caractérisation des espèces de Glomales et de leurs populations, des adventices, candidates à la fonction de plante réservoir-multiplicateur des Glomales compatibles avec le mil et l'arachide ont été identifiées. La sélection des meilleures souches pour l'amélioration de la production du mil et de l'arachide est en cours actuellement, dans d'un réseau d'essai aux champs.

4.3. Valorisation de la diversité des symbioses tropicales pour la restauration des forêts tropicales humides et des sites miniers.

4.3.1. Les symbioses ectomycorhiziennes d'Inde ont un ancêtre à Madagascar.

Les forêts tropicales humides dont la surface totale est en nette régression, jouent un rôle important dans l'équilibre climatique de la planète. L'analyse de leur fonctionnement, en particulier au niveau du sol, est une étape clé pour la gestion de ces forêts et, le cas échéant, de leur restauration. Dans ces écosystèmes complexes, les champignons mycorhiziens associés aux racines des arbres, constituent des voies d'entrée et de circulation privilégiées pour certains éléments nutritifs essentiels comme l'azote et le phosphore. Pourtant, la connaissance sur ces microorganismes associés aux plantes des forêts tropicales humides reste très fragmentaire, aussi bien au niveau de leur caractérisation, de leur spécificité vis-à-vis de la plante hôte, que de leur fonctionnement.

Dans une étude initiée dans la région de Fort Dauphin au sud de Madagascar, nous avons, dans le cadre de l'étude de faisabilité d'un projet d'exploitation minière très destructeur pour les dernières forêts côtières humides (extraction d'ilménite par la société QIT Fer) étudié le statut ectomycorhizien de ces forêts au cours de plusieurs missions financées par QIT Fer. Nous avons ainsi mis en évidence le statut ectomycorhizien de trois genres de ligneux endémiques *Sarcolaena*, *Leptolaena* et *Schizolaena* (Figure 4.12), dominants dans ce massif, et appartenant à la famille des Sarcolaenaceae, non décrite comme ectomycorhizienne à ce jour. Le séquençage partiel de l'ARNr mitochondrial et de l'ADN chloroplastique (gène *rbcl*), réalisé sur sporophores, ectomycorhizes et plantes, a confirmé les observations de terrain et microscopiques.

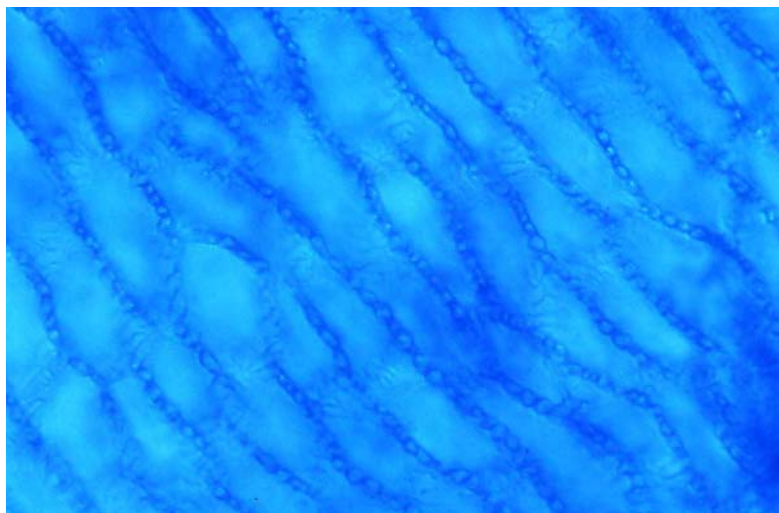


Figure 4.12 : Vue faciale du réseau de Hartig d'une ectomycorhizes de *Sarcolaena multiflora* Thou. après coloration au bleu Trypan dans le lactophénol d'Amman, dilacération modérée entre lame et lamelle et montage dans le PVLG (Koske et Tessier, 1983).

Au plan évolutif, plusieurs travaux ont montré, sur la base de caractères botaniques et génétiques la proximité et le caractère ancestral des Sarcolaenaceae vis-à-vis d'une autre famille botanique, les Dipterocarpaceae (Figure 4.13). Au sein des Malvales, ces deux familles constituent une terminaison évolutive entièrement ectomycorhizienne. Uniquement composée de ligneux, les Dipterocarpaceae dominent les forêts tropicales de l'Inde, et du sud est asiatique. Les Dipterocarpaceae comprennent quatre genres et 13 espèces dans le massif forestier des Ghâts occidentaux, en Inde. Particulièrement intéressante, cette partie ouest de l'Inde est décrite comme la zone de contact avec Madagascar dans le Gondwana et lors de la migration du bloc indo-malgache vers le bloc laurasien. Récemment ce modèle de migration a été utilisé pour expliquer la survie et la migration d'amphibiens et leur colonisation de l'Eurasie (Bossuyt et Milinkovitch, 2001). C'est ainsi, qu'à partir des Ghâts occidentaux se seraient progressivement effectué la colonisation et la diversification des Dipterocarpaceae vers toute l'Asie du Sud Est. L'ectotrophie des Sarcolaenaceae malgaches, au sein du clade "dipterocarpalien", révèle l'existence d'un ancêtre ectomycorhizien commun évoluant vers les Sarcolaenaceae à Madagascar et les Dipterocarpaceae sur le continent eurasien. Cela indique la stabilité du caractère ectomycorhizien au cours de l'évolution sur une période de plus de 86 millions d'années, date de la séparation du bloc Madagascar/Seychelles/Inde. Jusqu'alors, les plus anciennes associations ectomycorhiziennes, formellement établies sur des fossiles, sont datées de 50mA environ, sur des racines du genre *Pinus*.

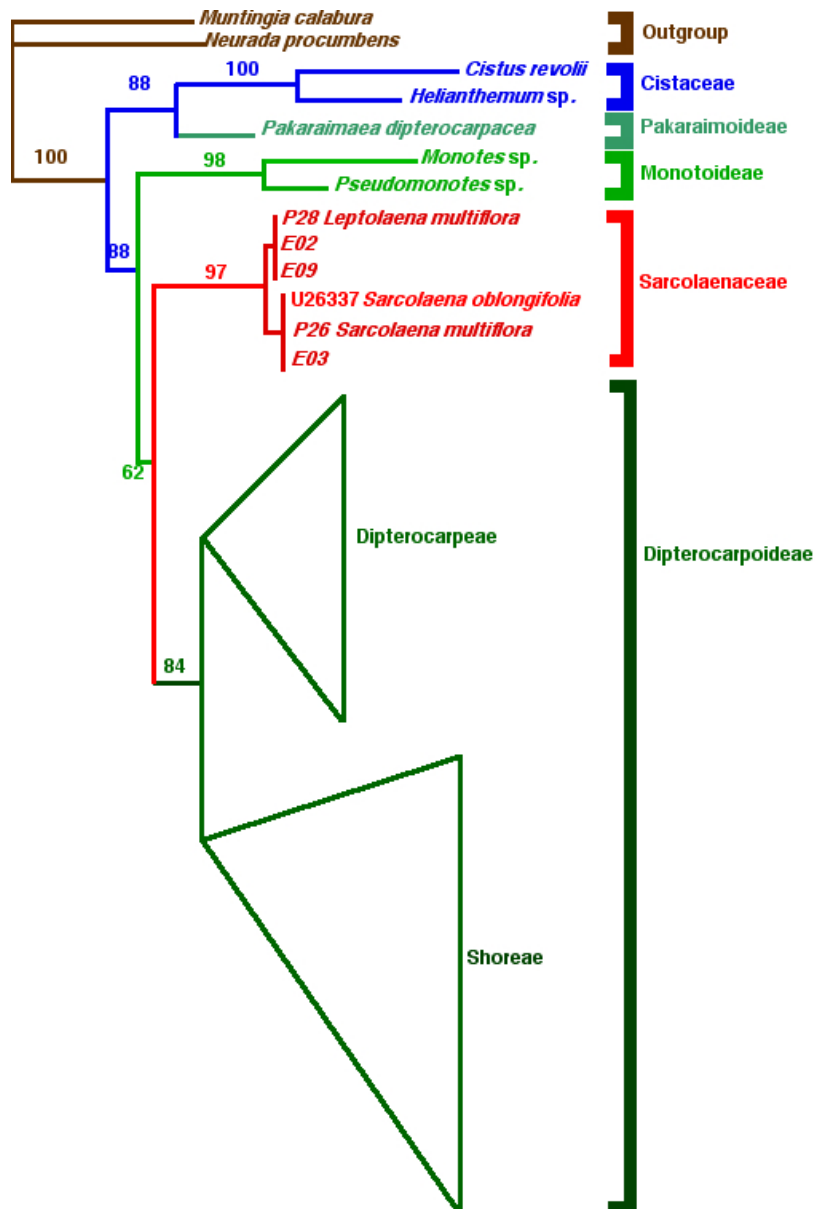


Figure 4.13 : Représentation schématique de la phylogénie *rbcL* des Dipterocarpaceae et des Sarcolaenaceae d'après Dayanandan *et al.* (1999), avec la position de trois séquences *rbcL* d'ectomycorhizes (E02, E03 et E09) récoltées dans les forêts du Sud Est de Madagascar dominée par les Sarcolaenaceae.

Dans le cadre de la thèse de Taiana Rivière financée par l'Institut Français de Pondichéry (IFP) en partenariat avec l'Université de Madras (Prof. K. Natarajan), la diversité des symbioses ectomycorhiziennes des Ghâts occidentaux a pu être abordé, notamment afin de déterminer leur rôle dans la régénération de la forêt. Cette étude a permis une analyse comparée de l'évolution des gènes nucléaires (ITS1-ITS4) et mitochondriaux (ML5-ML6) de champignons indiens et malgaches appartenant au genre *Russula*.

4.3.2. Diversité des symbioses mycorhiziennes des sites miniers de Nouvelle-Calédonie.

En Nouvelle-Calédonie, plus de 3 500 espèces de plantes à fleurs dont 80 % sont endémiques ont été recensées, faisant de la flore de ce territoire de 18 000 km² une des plus riches et originales de la planète. Cet endémisme semble avoir été favorisé par la nature des sols de Nouvelle-Calédonie qui, majoritairement formés sur des roches ultramafiques, contiennent de grandes concentrations de nickel, de cobalt, de chrome, toxiques pour les plantes. Cette toxicité a entraîné une forte adaptation de la flore pour laquelle les microorganismes rhizosphériques et symbiotiques jouent un rôle clé. Nous nous sommes donc particulièrement intéressés aux champignons mycorhiziens associés aux plantes adaptées aux sols riches en nickel. L'intérêt de ce programme est double, il associe en effet des aspects fondamentaux sur la caractérisation de la biodiversité à des aspects pratiques de restauration des sites miniers, ce deuxième aspect intéressant au plus haut point les industriels miniers.

L'association entre les champignons mycorhiziens et leurs plantes hôtes est connu pour son effet protecteur vis-à-vis de différents stress édaphiques. Sur sols marginaux, ces champignons symbiotiques ont un rôle essentiel dans l'apport à la plante de différents éléments nutritifs. De plus, les champignons mycorhiziens sont capables de réduire l'absorption et le transfert à leur hôte de métaux, jouant ainsi un rôle clé dans la protection et la croissance de certains arbres en présence de concentrations élevées de métaux. Dans le cadre de l'appel à proposition 1999 du Programme Ecosystèmes Tropicaux du MATE, un financement a été obtenu pour réaliser l'étude suivante : "Impact de l'exploitation minière sur la diversité des micro-organismes associés aux Casuarinacées en Nouvelle-Calédonie". Dans ce projet, notre contribution a porté sur la diversité des champignons mycorhiziens naturellement présents dans des écosystèmes métallophytiques.

Notre étude a porté sur deux types de champignons mycorhiziens, d'une part les champignons ectomycorhiziens associés à des espèces endémiques de Nouvelle-Calédonie, et d'autre part sur des champignons endomycorhiziens très particuliers qui forment sur les racines de certaines plantes, des petites structures racinaires appelées nodules mycorhiziens ou myconodules.

4.3.2.1. Étude des champignons endomycorhiziens formant des myconodules.

Décrits initialement par Huguenin (1969) sur deux espèces de *Gymnostoma* des sols nickélifères de Nouvelle-Calédonie, les myconodules sont de petites protubérances de formes variables, présentes en nombre également variable sur les racines. Dans le cadre d'un financement conjoint de l'Ambassade de France en Australie et de l'Académie australienne des sciences, une prospection des myconodules a été organisée en Australie et en Nouvelle-Calédonie. Cette prospection a permis de mettre en évidence la présence de

ces organes sur des espèces de deux autres genre de Casuarinaceae, *Casuarina* et *Allocasuarina* mais également sur des genres de gymnospermes comme *Araucaria* et *Prumnopitys* dans des conditions édaphiques où les teneurs en métaux lourds ne représentent pas une contrainte particulière. Des myconodules de formes très irrégulières ont également été observés sur les racines de certaines Sapindaceae.

Selon l'espèce considérée, la forme de ces organes est variable, pyriformes sphériques ou en chapelet (Figure 4.14) pour une longueur moyenne comprise entre 0,49 et 0,65 mm et une largeur moyenne entre 0,30 et 0,51 mm. Les couches de cellules les plus externes correspondent à des cellules mortes, subérifiées et fortement chargées en tannin. Une seconde assise de cellules, qui présente une forte analogie avec celles d'une racine normale, recouvre un tissu parenchymateux constitué de cellules hypertrophiées (Figure 4.15).



Figure 4.14 : Exemples de forme des myconodules. A : myconodules pyriforme de *Gymnostoma poissonianum* (Schltr.) L.A.S. Johnson, B : myconodules sphérique de *G. glaucescens* (Schltr.) L.A.S. Johnson, C : myconodules en chapelet de *G. australianum* L.A.S. Johnson.



Figure 4.15 : Structure histologique vue en coupe longitudinale d'un myconodule pyriforme de *G. poissonianum*.

La présence de filaments mycéliens formant des replis à l'intérieur de ces cellules et des structures de type arbuscules ou hyphes pelotonnés et de vésicules suggère la présence d'un champignon mycorhizien arbusculaire. Nous avons extrait l'ADN des myconodules et amplifié par PCR avec le couple d'amorce NS31/AM1, utilisé pour caractériser les Glomales. Les résultats de séquençage obtenus pour les trois espèces de *Gymnostoma*, ont permis de déterminer que l'endophyte des myconodules appartenait bien aux Glomales, La famille des champignons mycorhiziens arbusculaire, mais qu'ils formaient, au sein de cette famille un groupe original, phylogénétiquement distinct (Figure 4.16) précisant ainsi les travaux de Duhoux *et al.* (2001). La comparaison des arbres phylogénétiques des plantes hôtes avec celui des champignons présents dans leurs myconodules, indique qu'il n'y a pas de co-cladogenèse. Le rôle fonctionnel de ces organes reste à décrire.

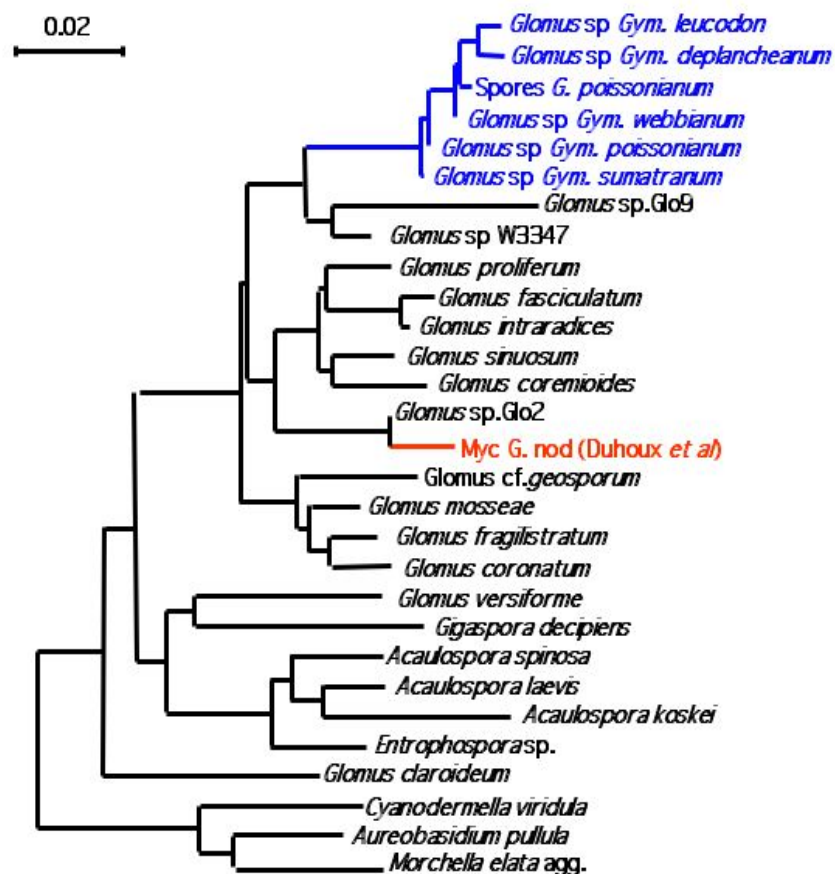


Figure 4.16 : Représentation schématique de la phylogénie de la sous unité 18 S de l'ADN nucléaire (séquences partielles), avec la position des séquences des endophytes des myconodules de *Gymnostoma* spp.

4.3.2.2. Étude des ectomycorhizes et des champignons ectomycorhiziens des maquis miniers.

Dans le cadre d'une étude réalisée conjointement par le LSTM (UMR 113), l'IRD de Nouméa et la société Falconbridge, l'importance des ectomycorhizes qui associent principalement des Basidiomycètes à des végétaux supérieurs a été découverte dans deux biotopes distincts du massif du Koniambo : le maquis à *Tristaniopsis* (Myrtaceae), décrit comme ectomycorhizien pour la première fois et les forêts-galeries à *Nothofagus* (Fagaceae). À cette découverte, il convient d'ajouter l'importante diversité de champignons ectomycorhiziens trouvés associés aux espèces *Tristaniopsis callobuxus* Brongn. & Gris, *T. guillainii* Vieill. ex Brongn. & Gris, *Nothofagus balansae* (Baill.) Steenis et *N. codonandra* (Baill.) Steenis (Figure 4.17). Les maquis à *Tristaniopsis* spp. et les forêts-galeries à *Nothofagus* spp. concentrent, à eux deux, l'essentiel de la biomasse végétale et de la diversité du massif du Koniambo. Pour la première fois, des prospections mycologiques régulières ont pu être menées dans ces milieux, permettant de mettre en évidence des champignons appartenant à des groupes ectomycorhiziens déjà connus comme les Russules, les Lactaires, les Amanites, les Cortinaires, les Tricholomes, les Chanterelles, etc. La plupart de ces échantillons semblent constituer des taxons nouveaux endémiques de la Nouvelle-Calédonie ; une nouvelle espèce de Chanterelle, *Cantharellus garnierii* Ducousso & Eyssartier et une nouvelle espèce de Russule, *Russula auranthiophylla* Buyck & Ducousso ont ainsi été décrites en 2004. Du point de vue de sa composition, le cortège ectomycorhizien associé aux *Tristaniopsis* et aux *Nothofagus* est caractérisé par l'abondance et la diversité du genre *Cortinarius*. Ce constat est d'autant plus remarquable que le genre *Cortinarius*, très important en zones tempérées de l'hémisphère Nord comme de l'hémisphère Sud, est quasiment absent en zones tropicales ou restreint à des zones d'altitude comme c'est le cas en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Les Cortinaires néo-calédoniens constituent pour ce genre, le premier groupe tropical de cette importance. Ils ont été comparés, sur la base de séquences d'ADN nucléaire mitochondriales partielles à des Cortinaires australiens, néo-zélandais, chiliens, argentins, européens et nord-américains. Outre l'importance de cette diversité, le rôle de ces champignons dans la cohésion des sols constitués quasi exclusivement de billes d'oxyde de fer (Goëthite) où croissent les maquis à *Tristaniopsis* spp. a été mis en évidence.



Figure 4.17 : Exemples de carpophores de champignons mycorhiziens des forêts-galeries à *Nothofagus* spp. (A, B et D) et des maquis miniers à *Tristaniopsis* spp. (C). A : *Cotinarius* sp. nov, gr. *Taxterogaster* ; B : *Russula auranthiophylla* ; C : *Pisolithus albus* ; D : *Cotinarius* sp. nov, gr. *Dermocybe*.

4.4. Caractérisation moléculaire des Basidiomycètes responsables de la dégradation du bois en pourritures cubique et fibreuse.

Cette quatrième partie de mes activités de recherche est à la base, une application des méthodes mises au point pour la caractérisation et le suivi des souches mycorhiziennes inoculées dans les essais de mycorhization contrôlée aux champignons qui dégradent le bois en pourritures cubique et fibreuse. Du fait de l'origine phylogénétique commune des champignons ectomycorhiziens et des champignons lignivores (Moncalvo *et al.*, 2000), les résultats obtenus concernent aussi ce premier groupe de champignons.

4.4.1. Analyse de la diversité des Basidiomycètes impliqués dans la dégradation du bois.

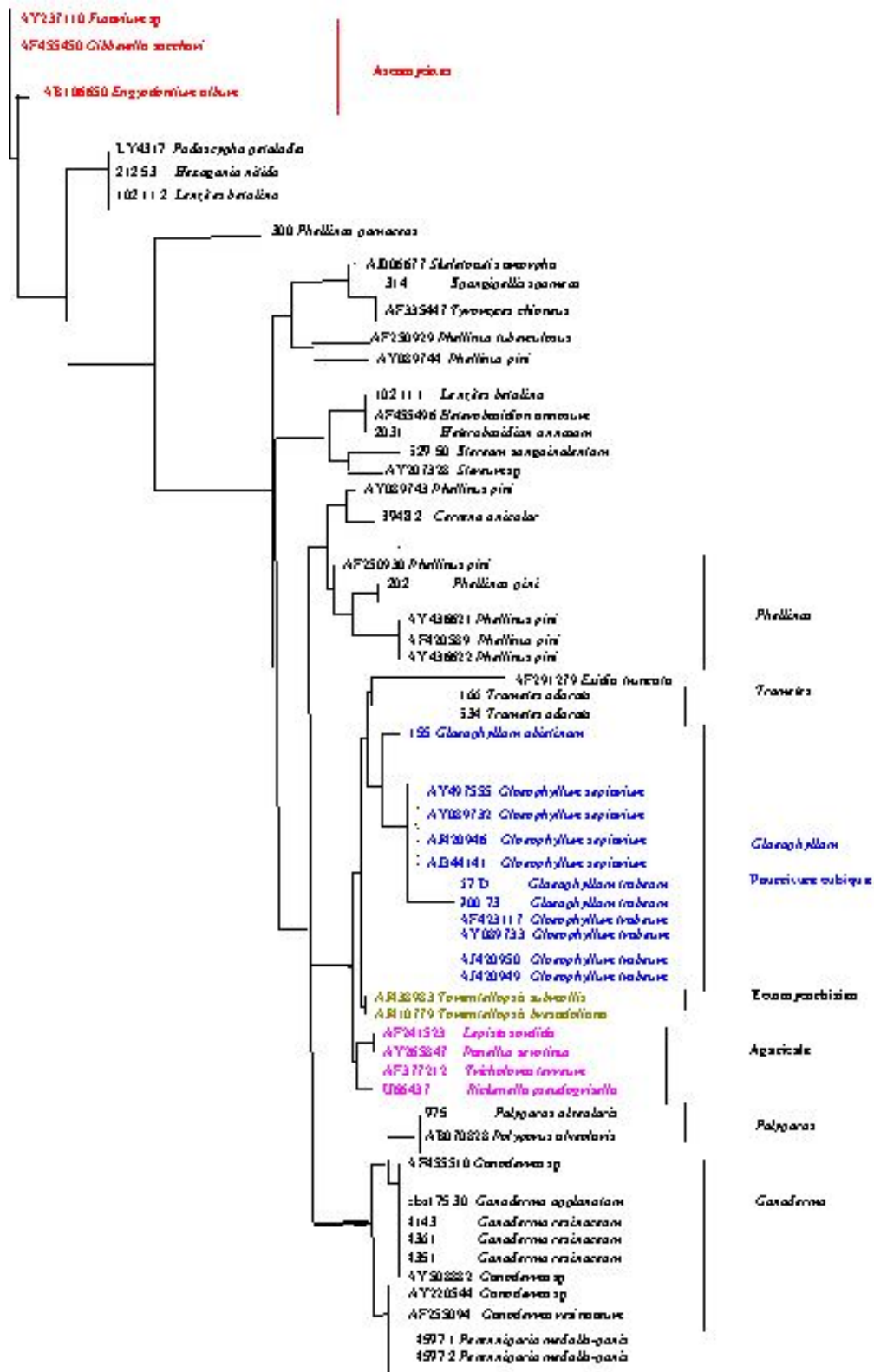
Le laboratoire de Préservation des Bois du Cirad possède plus de 800 souches de champignons responsables de la détérioration des bois tropicaux et tempérés ; ces souches ont été déterminées pour la plupart entre 1952 et 1982 d'après les caractères morphologiques et anatomiques des carpophores dont elles sont issues. Pour compléter la caractérisation de ces souches et explorer une éventuelle diversité intraspécifique, nous avons choisi d'utiliser la PCR/RFLP et le séquençage de l'ITS ribosomique nucléaire (Bruns et al., 1991). La comparaison de ces séquences fournira des indications sur la position taxonomique et la diversité de ces Basidiomycètes (Moreth et Schmidt, 2000 ; Göller et Rudolph, 2003).

Les résultats de la PCR/RFLP nous ont permis de mettre rapidement en évidence la variabilité des ITS d'une centaine de souche de la collection. Toutefois, cette méthode exige la constitution d'une banque de données difficilement échangeable avec d'autres équipes. Nous en concluons, que pour nos études, la PCR/RFLP est un outil à restreindre à des travaux sur le suivi au laboratoire de souches déjà caractérisées.

La comparaison des séquences obtenues avec les séquences en banques de données (BLASTn) nous a permis une analyse plus fine de la diversité de l'ITS mettant en évidence le caractère hypervariable des portions ITS1 et ITS2 non exprimées et le caractère beaucoup moins variable, voire totalement conservée entre espèces proches de la petite sous unité 5,8S (Berbee et Taylor, 1993). Toutefois, pour l'identification d'un champignon, l'utilisation du BLASTn est à considérer uniquement en confirmation d'indications sur la morphologie et l'anatomie des carpophores.

Au cours de l'étude des relations phylogénétiques entre les différentes souches de la collection et les séquences de référence, des problèmes d'alignements dus à la forte divergence des séquences ont été constatés, confirmant l'hypervariabilité des portions ITS1 et ITS2. Nous avons donc, dans un premier temps, réalisé les alignements sur des fragments de 215 à 251 nucléotides centrés sur le 5,8S. L'arbre ainsi obtenu permet de mettre en évidence des clades où les espèces tendent à se grouper selon les genres et selon la capacité à dégrader le bois en pourriture fibreuse ou cubique (Figure 4.18). Cette analyse confirme également la très grande proximité taxinomique entre les Basidiomycètes saprophytes et les Basidiomycètes ectomycorhiziens confirmant que la capacité des champignons à établir des symbioses ectomycorhiziennes aurait pu émerger à partir d'un ou plusieurs groupes de champignons saprophytes (Bruns *et al.*, 1991 ; Hibbett et Donoghue, 1995). Des analyses portant sur les séquences complètes des ITS ont permis de confirmer les différents clades et de formuler des hypothèses sur la signification des variations de

séquences des ITS dans des groupes de champignons comme *Spongipellis*, *Gloeophyllum* et *Trametes* (Boidin *et al.*, 1998).



4.4.2. Développement d'un outil pour la détection précoce de champignon dans le bois.

Les champignons impliqués dans la dégradation du bois jouent un rôle majeur dans les écosystèmes terrestres en recyclant le carbone séquestré dans le bois (Hibbett et Donoghue 2001). Ce rôle essentiel a malheureusement un impact économique très fort sur les bois mis en service. La dégradation du bois connue principalement sous deux formes : la pourriture fibreuse ou blanche et la pourriture cubique ou brune (Figure 4.19) est combattue grâce à l'utilisation de produits chimiques à large spectre appliqués le plus souvent de façon préventive sur des bases empiriques. La détection précoce et l'identification de champignon dans le bois, avant même les premiers signes d'une altération de ses propriétés physiques, seraient de nature à rationaliser l'usage des produits de préservation du bois. Jusqu'à présent les études allant dans ce sens étaient limitées à des bois tendres et non teinté naturellement (Jasalavich *et al.*, 2000 ; Adair *et al.*, 2002).



Figure 4.19 : Exemples de la dégradation d'un bois par un champignon de pourriture cubique (A) et par un champignon de pourriture fibreuse (B).

En collaboration avec le laboratoire de préservation du bois du Cirad à Montpellier (thèse d'Alba Zaremski), nous avons testé une méthode fondée sur l'amplification ciblée de portion de génomes fongiques afin de vérifier la présence de différents champignons de pourritures fibreuses et cubiques dans différents bois tropicaux, tempérés et de coloration naturelle différente.

Après une vérification indirecte par mesure de la perte de masse, de la présence du champignon dans les éprouvettes de bois, la comparaison des séquences des souches utilisées avec les séquences obtenues à partir des bois infecté nous a permis de confirmer l'identité du champignon présent dans le bois. Cette méthode a été développée pour la détection sur pied du *Trametes pini* (Brot.) Fr. (le Mjej) et du *Laricifomes officinalis* (Vill.) Kotl. & Pouzar (le Saboune) dans les cèdres de l'Atlas au Maroc.

4.5. Références bibliographiques.

- Adair S., Kim S.H., Breuil C. (2002) - A molecular approach for early monitoring of decay Basidiomycetes in wood chips. *FEMS Microbiol. Lett.* **211**, 117-122.
- Bâ A.M., Dalpé Y., Guissou T. (1996) - Les Glomales d'*Acacia holosericea* et d'*Acacia mangium*. *Bois Forêts Tropiques* **250**, 5-18.
- Berbee M.L., Taylor J.W. (1993) - Dating the evolutionary radiations of the true fungi. *Can. J. Bot.* **71**, 1114-1127.
- Boidin J., Mugnier J., Canales R. (1998) - Taxonomie moléculaire des Aphyllophorales. *Mycotaxon* **66**, 445-491.
- Bossuyt F., Milinkovitch C. (2001) - Amphibians as indicators of early tertiary "out-of-India" dispersal of vertebrates. *Science* **292**, 93-95.
- Bruns T., White T.J., Taylor J.W. (1991) - Fungal molecular systematics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **22**, 525-564.
- Carrillo-García A., Leon de la Luz J.L., Bashan Y., Bethlenfalvay G.J. (1999) - Nurse plants, mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran Desert. *Restor. Ecol.* **7**, 321-335.
- Chakravarty P., Unestam T. (1987). Differential influence of ectomycorrhizae on plant growth and disease resistance in *Pinus sylvestris* seedlings. *J. Phytopathol.* **20**, 104-120.
- Cossalter C., Pye-Smith C. (2003) - Fast-wood forestry myths and realities. Centre for International Forestry Research, Bogor Barat, Indonesia.
- Dayananadan S., Ashton P.S., Williams S.M., Primack R.B. (1999) - Phylogeny of the tropical tree family Dipterocarpaceae based on nucleotide sequences of the chloroplast *rbcL* gene. *Amer. J. Bot.* **86**, 1182-1190.
- De la Cruz R.E., Yantasath K. (1993) - Symbiotic associations. Dans : *Acacia mangium* growing and utilisation (Eds : Awang K., Taylor D.A.). Winrock International and FAO, Bangkok, Thailand, pp 101-111.
- Dreyfus B., Dommergues Y.R. (1981) – Nodulation of *Acacia* species by fast and slow growing tropical strains of *Rhizobium*. *Appl. Environ. Microbiol.* **41**, 97-99.
- Duhoux E., Rinaudo G., Diem H.G., Auguy F., Fernandez D., Bogusz D., Franche C., Dommergues Y., Huguenin B. (2001) - Angiosperm *Gymnostoma* trees produce root nodules colonised by arbuscular mycorrhizal fungi related to *Glomus*. *New Phytol.* **149**, 115-125.
- Duponnois R., Founoune H., Lesueur D. (2002) - Influence of controlled dual ectomycorrhizal and rhizobial symbiosis on the growth of *Acacia mangium* provenances, the indigenous symbiotic microflora and the structure of plant parasitic nematode communities. *Geoderma* **109**, 85-102.

- Galiana A., Chaumont J., Diem H.G., Dommergues Y.R. (1990) - Nitrogen fixation potential of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* seedlings inoculated with *Bradyrhizobium* and *Rhizobium* spp. *Biol. Fertil. Soil.* **9**, 261-267.
- Galiana A., Prin Y., Mallet B., Gnahoua G.M., Poitel M., Diem H.G. (1994) - Inoculation of *Acacia mangium* with alginate beads containing selected *Bradyrhizobium* strains under field conditions: long-term effect on plant growth and persistence of the introduced strains in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* **60**, 3974-3980.
- Galiana A., Gnahoua G.M., Chaumont J., Lesueur D., Prin Y., Mallet B. (1998) - Improvement of nitrogen fixation in *Acacia mangium* through inoculation with rhizobium. *Agroforestry System* **40**, 297-307.
- Göller K., Rudolph D. (2003) - The need for unequivocally defined reference fungi – Genomic variation in two strains named as *Coniophora puteana* BAM Ebw.15. *Holzforschung* **57**, 456-458.
- Helgason T., Daniell T.J., Husband R., Fitter A.H., Young J.P.W. (1998) – Ploughing up in the wood-wide-web ? *Nature* **394**, 431.
- Hibbett D.S., Donoghue M.J. (1995) - Progress toward a phylogenetic classification of the *Polyporaceae* through parsimony analysis of mitochondrial ribosomal DNA sequences. *Can. J. Bot.* **73**, 853-861.
- Hibbett D.S., Donoghue M.J. (2001) - Analysis of character correlations among wood decay mechanisms, mating systems, and substrate ranges in Homobasidiomycetes. *Syst. Biol.* **50**, 215-242.
- Huguenin B. (1969) - Les nodules mycorrhiziens de *Casuarina deplancheana* de Nouvelle-Calédonie. Doctorat d'État, Faculté des sciences de Rouen, France.
- Jasalavich C.A., Ostrofsky A., Jellison J. (2000) - Detection and identification of decay fungi in spruce wood by restriction fragment length polymorphism analysis of amplified gene encoding rDNA. *Appl. Environ. Microbiol.* **66**, 4725-4734.
- Johnson N.C., Zak D.R., Tilman D., Pfleger F.L. (1991) - Dynamics of vesicular-arbuscular mycorrhizae during old field succession. *Oecologia* **86**, 349-358.
- Koske R.E., Tessier B. (1983) - A convenient permanent slide mounting medium. *Mycol. Soc. Am. News.* **34**, 59-67.
- Lückow M., Miller J.T., Murphy D.J., Livshultz T. (2003) - A phylogenetic analysis of the Mimosoideae (Leguminosae) based on chloroplast DNA sequence data. Dans : Advances in Legume Systematics, part 10. Higher Level Systematics (Eds : Klitgaard B.B., Bruneau A.), Royal Botanical Gardens, Kew, UK, pp 197-220.
- Martin-Laurent F., Lee S.K., Tham F.Y., He J., Diem H.G., Durand P. (1997) - A new approach to enhance growth and nodulation of *Acacia mangium* through aeroponic culture. *Biol. Fertil. Soils* **5**, 7-12.

- Moncalvo J.M., Lutzoni F.M., Rehner S.A., Johnson J., Vilgalys R. (2000) - Phylogenetic relationships of agaricales fungi based on nuclear large subunit ribosomal DNA sequences. *Syst. Biol.* **49**, 278-305.
- Moreth U., Schmidt O. (2000) - Identification of indoor rot fungi by taxon-specific priming polymerase chain reaction. *Holzforschung* **54**, 1-8.
- Odee D.W., Sprent J.I. (1992) – *Acacia brevispica*: a non-nodulating mimosoid legume ? *Soil Biol. Biochem.* **24**, 717-719.
- Reddell P., Warren R. (1986) – Inoculation of acacias with mycorrhizal fungi: potential benefits. Dans : Australian acacias in developing countries (Ed. : Turnbull J.W.), Aciar proceeding N°16, 50-53.
- Simon L., Bousquet J., Levesque R.C., Lalonde M. (1993) - Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature* **363**, 64-67.
- Umali-Garcia M., Libuit J.S., Baggayan R.L. (1988) - Effects of *Rhizobium* inoculation on growth and nodulation of *Albizia falcataria* (L.) Fosh. and *Acacia mangium* Willd. in the nursery. *Plant Soil* **108**, 71-78.
- Van der Heijden M.G.A., Klironomos J.N., Ursic M. (1998) - Mycorrhizal fungi diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* **396**, 69-72.
- Warcup J.H. (1980) – Ectomycorrhizal association of australian indigenous plants. *New Phytol.* **85**, 531-535.
- Warren A., Sud Y.C., Rozanov B. (1996) - The future of deserts. *J. Arid Environ.* **32**, 75-89.
- Zakhia F., Ducousso M., Mondolot L., Cleyet-Marel J.C., Andary C. (2003) - Spot inoculation of *Medicago laciniata* root by *Sinorhizobium meliloti* C1-4 or *Glomus* sp. S043 induces local accumulation of Flavonoids. *Acta Bot. Gal.* **150**, 275-283.

5. PROJET DE RECHERCHE

Adaptation aux métaux des plantes et de leurs champignons mycorhiziens : application à la restauration des écosystèmes métallobytophytes de Nouvelle-Calédonie

5.1. Contexte du projet : une biodiversité terrestre unique, source de multiples questions de recherche d'intérêts générique et finalisé

Le nickel constitue aujourd'hui la première ressource économique de la Nouvelle-Calédonie, aussi, l'exploitation du minerai génère d'importantes surfaces totalement dépourvues de la partie superficielle du sol ou topsoil (Figure 5.1). Jusqu'à une période récente, l'abandon en l'état des sites miniers après exploitation avait des conséquences environnementales catastrophiques sur le réseau hydrographique, jusqu'au lagon dont la richesse en biodiversité est mondialement reconnue, provoquant localement la mort du corail par asphyxie. Ainsi, l'exploitation du nickel implique maintenant la nécessité de restaurer les sites après exploitation (Figure 5.2) afin de reconstituer les écosystèmes métallobytophytes d'origine mais aussi pour la préservation des autres écosystèmes qui lui sont liés notamment le lagon.

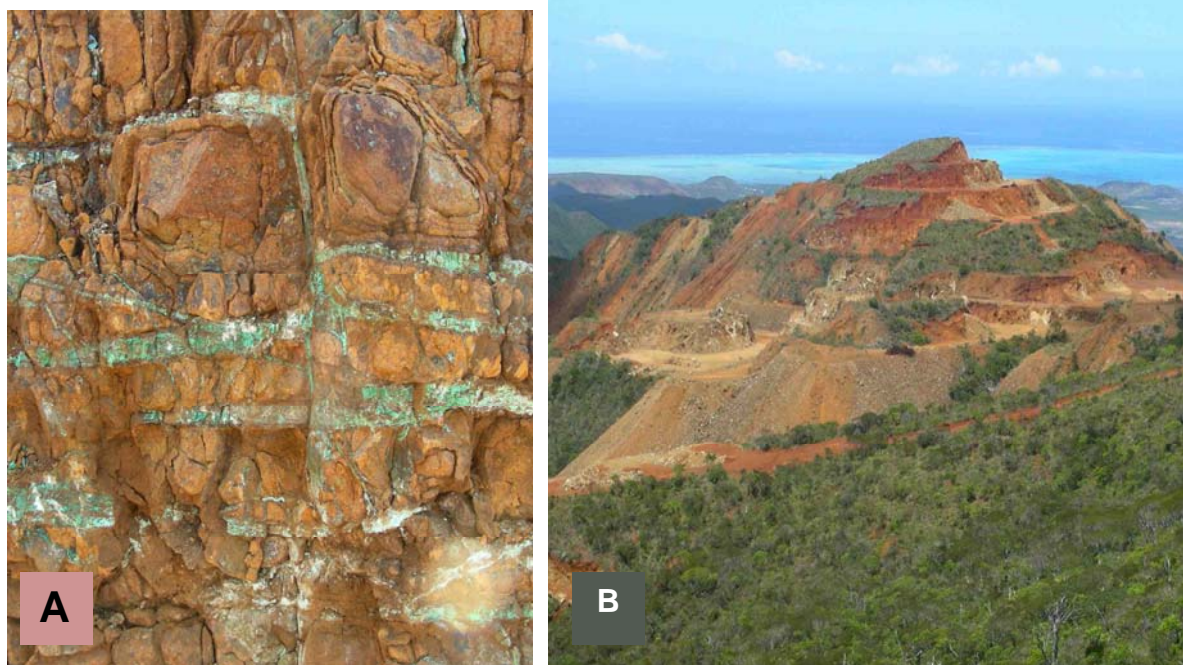


Figure 5.1 : A : vue *in situ* de filons de garniérite (en vert), principal minerai de nickel en Nouvelle-Calédonie ; B : vue de la mine de nickel de Manguen (massif du Koniambo) après extraction de la garniérite (1948-1952) et sans remise en état après exploitation.



Figure 5.2 : Exemple d'essai de revégétalisation après exploitation du minerais de nickel en Nouvelle-Calédonie (Mont Dore).

La flore de Nouvelle-Calédonie est considérée comme l'une des plus riches et des plus originales de la planète avec plus de 3500 espèces de plantes à fleurs, dont 80 % sont endémiques, recensées sur ce territoire de 18000 km² (Myers *et al.*, 2000). L'originalité de cette flore est en partie liée à son isolement et à la spécificité des sols provenant de l'altération des roches ultramafiques qui présentent des teneurs extrêmes en fer, nickel, manganèse, cobalt, chrome et, dans certains cas, en magnésium et des carences en éléments nutritifs majeurs comme l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium.

Les conditions édaphiques extrêmes des sols de Nouvelle-Calédonie ont sans doute contribué à faire émerger des processus adaptatifs permettant aux plantes et aux champignons mycorhiziens de résister, de croître, d'interagir et de se développer dans ces environnements fortement contraignants et hostiles. La biodiversité exceptionnelle de cet écosystème particulier est une source majeure d'acquisition de connaissances sur les mécanismes qui sous-tendent les processus adaptatifs des communautés de plantes et de champignons mycorhiziens associés, sous contraintes édaphiques fortes.

Dans leurs principes, les processus de restauration débutent invariablement par la réinitialisation du fonctionnement microbien du sol, nécessaire à la réimplantation d'une végétation. Cette réinitialisation, quand elle n'a pas lieu spontanément ou qu'on cherche à l'accélérer peut être réalisée par un apport de topsoil, véritable milieu naturel de croissance

des plantes résultant principalement des interactions au fil des ans entre le sous-sol, les champignons, les bactéries et les plantes. L'apport de microorganismes sélectionnés (bactérie ou champignons telluriques) est également une voie utilisée pour la réinitialisation des processus biologiques des sols afin de permettre la réimplantation d'une végétation. Dans les conditions très particulières de la restauration des écosystèmes des sols ultramafiques de Nouvelle-Calédonie, l'utilisation des topsoils et des microorganismes sélectionnés doit être envisagée.

5.2. Caractériser et étudier les interactions plantes-mycorhizes-sols dans l'adaptation des plantes aux métaux.

La grande majorité des plantes se développant dans des conditions naturelles présentent des associations symbiotiques de type mycorhize (Smith et Read, 1997). Ces associations symbiotiques (ectomycorhizes et mycorhizes arbusculaires) ont été également décrites chez les plantes isolées sur des sols naturellement riches en métaux (Turnau et Mesjasz-Przybylowicz, 2003). Dans le cas d'associations plantes-ectomycorhizes isolées sur des sols riches en métaux lourds, le rôle protecteur du champignon, qui prévient la translocation du métal dans les tissus de la plante, a pu être mis en évidence (Heggo *et al.*, 1990 ; Leyval *et al.*, 1997 ; Hildebrandt *et al.*, 1999). Dans les sols miniers de Nouvelle-Calédonie, de nouvelles associations symbiotiques tropicales plantes-ectomycorhizes : *Nothofagus*-Cortinaires, *Tristaniopsis*-Pisolithes ou *Tristaniopsis*-Cortinaires ont été décrites (Perrier *et al.*, 2004). Ces symbioses semblent particulièrement adaptées aux conditions édaphiques extrêmes et, notamment aux concentrations élevées en nickel. Les symbioses ectomycorhiziennes-plantes néo-calédoniennes constituent un modèle de compréhension des mécanismes d'adaptation des plantes en conditions édaphiques extrêmes, modèle d'autant plus original que, comme la plupart des autres espèces végétales présentes en Nouvelle-Calédonie, ces symbioses sont endémiques au territoire.

Dans ce cadre, notre objectif sera de comprendre le rôle des ectomycorhizes dans l'adaptation des plantes aux métaux lourds présents dans les sols miniers de Nouvelle-Calédonie. Ce travail sera articulé autour de trois opérations de recherche qui viseront à identifier et caractériser les principales fonctions impliquées dans l'acquisition et l'accumulation des métaux du sol par les organismes, à comprendre les mécanismes d'échange et de transfert de métaux dans le système sol-microorganismes-plante et à hiérarchiser les différents paramètres clés, biotiques et abiotiques, qui contrôlent ces transferts.

Ces travaux devront notamment permettre une gestion des topsoils respectueuse de leur biodiversité mycorhizienne en vue d'optimiser la restauration, après exploitation, de sites

miniers nickélifère avec des espèces produisant une biomasse abondante au sein d'écosystèmes diversifiés.

5.3. Valoriser les acquis de la recherche.

5.3.1. Applications dans le domaine de la restauration des sites miniers après exploitation.

Sur le plan des applications et de la valorisation, l'objectif est de proposer des méthodologies susceptibles d'intéresser directement des entreprises néo-calédoniennes du domaine des biotechnologies et les décideurs locaux impliqués dans la gestion durable de l'environnement.

Ainsi, après avoir caractérisé les principales fonctions notamment enzymatiques et physiques des champignons mycorhiziens dans le topsoil, il sera nécessaire de caractériser l'effet de perturbations comme le prélèvement, le stockage, la réimplantation, *etc*, sur l'aptitude mycorhizogène des topsoils et les autres fonctions préalablement identifiées afin d'activer et d'accélérer la reconstitution du topsoil et le processus de restauration dans son ensemble.

À terme, des techniques de manipulation et de stockage du topsoil, compatibles avec le maintien de ses principales fonctions, indispensables à une restauration réussie du milieu seront proposées.

5.3.2. Dans le domaine de la formation.

Dans ce cadre de recherche pour le développement, une contribution à la formation par la recherche est envisagée en collaboration avec l'Université de Nouvelle-Calédonie. Cette contribution dans le domaine de la gestion des ressources naturelles et de l'environnement se traduira notamment par l'encadrement d'étudiants de Masters et de Thèses et dans la mesure du possible, par la réalisation de cours à l'Université de Nouvelle-Calédonie. L'implication dans l'encadrement de Master et de PhD se fera, en concertation avec l'Université de Nouvelle-Calédonie dans le cadre de la mise en place de l'École Doctorale du Pacifique ou dans le cadre de l'Université Montpellier 2. Pour cela, les implications au travers du LSTM dans les Masters « Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement » et « Biodiversité et Interactions microbiennes et Parasitaires » et de l'École Doctorale "Biologie des Systèmes Intégrés, Agronomie-Environnement" de l'Université de Montpellier 2 et de l'Agro-M seront renforcées et des alliances scientifiques avec des partenaires australiens seront recherchées.

L'approfondissement des enseignements de la microbiologie environnementale dans le cadre de la Licence de Sciences mention Sciences de la vie, de la Terre et de l'univers de l'Université de Nouvelle-Calédonie devra permettre, à terme, de former des étudiants capables d'intégrer la composante microbiologique et son fonctionnement dans les sols pour la gestion durable des écosystèmes et des productions végétales.

5.3.3. Dans la diffusion de l'information scientifique et technique.

Les acquis de ces travaux de recherche pour le développement seront traduits notamment en publications scientifiques dans des revues internationales à facteur d'impact et en participation à des conférences et congrès internationaux. La mise en place d'une plateforme de biologie moléculaire gérée et animée par l'équipe du LSTM de Nouméa apportera aussi une contribution importante à la diffusion de la connaissance dans le domaine de la biodiversité et de sa gestion.

Des documents et ouvrages de vulgarisation appuyés par la mise en place de dispositif expérimentaux sur le terrain en partenariat avec les gestionnaires locaux de l'environnement seront envisagés.

5.4. Références bibliographiques.

- Heggo A., Angle J.S., Channey R.L. (1990) - Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on heavy metal uptake by soybeans. *Soil Biol. Biochem.* **22**, 865-869.
- Hilderbrandt M, Kaldorf M, Bothe H. (1999) - The zinc violet and its colonisation by arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Plant Physiol.* **154**, 709-717.
- Leyval C., Turnau K., Haselwandter K. (1997) – Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological and applied aspects. *Mycorrhiza* **7**, 139-153.
- Myers, N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A.B., Kent J. (2000) – Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* **403**, 853-858.
- Perrier N., Prin Y., Ducousso M., Dreyfus B., Colin F. (2004) – Ectotrophic association dominate ultramafic ecosystems of New Caledonia. *Appl. Environ. Microbiol.* (Soumis)
- Smith S.E., Read D.J. (1997) - Mycorrhizal symbiosis, 2nd Edition. London, Academic Press. 605 p.
- Turnau K., Mesjasz-Przybylowicz J. (2003) - Arbuscular mycorrhiza occurrence in *Berkheya coddii* and other Ni-hyperaccumulating members of *Asteraceae* from ultramafic soils in South Africa. *Mycorrhiza* **13**, 185–190.

ARTICLE 1

Zaremski A., **Ducousso M.**, Domergue O., Fardoux J., Rangin C., Fouquet D., Joly H., Sales C., Dreyfus B., Prin Y.

In situ molecular detection of some white-rot and brown-rot Basidiomycetes infecting temperate and tropical woods.

(2005) - *Canadian Journal of Forest Research*, **35**:1256-1260. IF : 1,446

ARTICLE 2

Weber J., Tham F.Y., Prin Y., Galiana A., Nourissier-Mountou S., **Ducousso M.**, Lee S.K.

Co-inoculation of *Acacia mangium* with *Glomus intraradices* and *Bradyrhizobium* sp. in aeroponic culture.

(2005) – *Biology and Fertility of Soil*, **41**:233-239. IF : 1,276

ARTICLE 3

Ducousso M., Galiana A., Chaix G., Prin Y.

Relative infectivity of two *Pisolithus* spp. strains inoculated to the nitrogen-fixing legume tree *Acacia crassicarpa* A. Cunn. ex Benth. in a field experiment in Madagascar.

(2004) - *European Journal of Soil Biology*, **40**:105-111. IF : 0,776

ARTICLE 4

Ducousso M., Bourgeois C., Buyck B., Eyssartier G., Vincelette M., Rabevohitra R., Béna G., Randrihasipara L., Dreyfus B., Prin Y.

The last common ancestor of Sarcolaenaceae and Asian dipterocarp trees was ectomycorrhizal before the India-Madagascar separation, about 88 million years ago.

(2004) - *Molecular Ecology*, **13**:231-236. IF : 4,375

ARTICLE 5

Ducousso M., Contesto C. Cossegal M., Prin Y., Rigault F. Eyssartier G.

Cantharellus garnierii sp. nov., une nouvelle chanterelle des maquis miniers nickélifères de Nouvelle-Calédonie.

(2004) – *Cryptogamie, Mycologie*, **25**: 115-125. IF : 0,250

ARTICLE 6

Diallo A.T., Samb P.I., **Ducousso M.**

Arbuscular mycorrhizal fungi in the semi-arid areas of Senegal.

(1999) - *European Journal of Soil Biology*, **35**(2):65-75. IF : 0,776

ARTICLE 7

Ducousso M., Bâ A.M., Thoen D.

Les champignons ectomycorhiziens des forêts naturelles et des plantations d'Afrique de l'ouest: une source de champignons comestibles.

(2003) - *Bois et Forêts des Tropiques* **275**:51-63

ARTICLE 8

Thoen D., **Ducousso M.**

Champignons et ectomycorhizes du Fouta Djallon.

(1989) - *Bois et Forêts des Tropiques*, **221**:45-63

ARTICLE 9

Ducousso M., Colonna J.P., Badji S., Thoen D.

Influence de l'azote et du phosphore sur l'établissement de la symbiose quadripartite: *Acacia holosericea*-*Bradyrhizobium* sp. - *Glomus mosseae*-*Pisolithus* sp.

Dans : Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides

Eds.: Riedacker A., Dreyer E., Pafadnam C., Joly H., Bary G.

(1991) - *John Libbey Eurotext*, 215-228

ARTICLE 10

Ducousso M., Thoen D.

Les types mycorhiziens des *Acacieae*.

Dans : Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides

Eds.: Riedacker A., Dreyer E., Pafadnam C., Joly H., Bary G.,

(1991) - John Libbey Eurotext, 175-182